

QUELLVORKOMMEN, GEWÄSSERNETZ UND BRUCHSYSTEME AUF ISLAND

**eine Untersuchung mit Satelliten-
und Luftbildverarbeitungen
sowie Wasseranalysen**

Ulrich Münzer

Disbui. München

1989





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554824_0048

QUELLVORKOMMEN, GEWASSERNETZ UND BRUCHSYSTEME AUF ISLAND

eine Untersuchung mit Satelliten- und Luftbild-
verarbeitungen sowie Wasseranalysen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Geowissenschaften
der Ludwig - Maximilians - Universität
München

vorgelegt von
Ulrich Münzer
München, 2. Januar 1989

1. Berichterstatter: Prof.Dr. J. Bodechtel
2. Berichterstatter: Prof.Dr. W.-D. Grimm

Tag der mündlichen Prüfung: 22.02.1989

QUELLVORKOMMEN, GEWASSERNETZ UND BRUCHSYSTEME AUF ISLAND

eine Untersuchung mit Satelliten- und Luftbild-
verarbeitungen sowie Wasseranalysen

	Danksagung	Seite 1
	Zielsetzung	3
1.	<u>EINFÜHRUNG IN DIE GEOLOGISCH-TEKTONISCHE ENT- WICKLUNG ISLANDS</u>	4
2.	<u>THERMALGEBIETE UND QUELLWASSER AUF ISLAND</u>	9
3.	<u>DIE LAGE ISLÄNDISCHER QUELLEN UND IHR BEZUG ZU DEN BRUCHSYSTEMEN DES LANDES</u>	11
3.1	Erstellung einer Lineament-Statistik über die tektonisch-vulkanischen Zusammenhänge auf Is- land mit Hilfe von Fernerkundungsdaten	11
3.1.1	Definition des Begriffs "Lineament"	13
3.1.2	Bestimmung von Lineamenten im Satellitenbild	15
3.1.3	Gegenüberstellung von linearen Strukturen im Satellitenbild und Luftbild	16
3.2	Interpretation der Satellitenbild-Lineament- karte	29
3.2.1	Auswertung und Darstellung in Kluftrosen-Dia- grammen	32
3.3	Das isländische Gewässernetz	37
3.3.1	Auswertung und Darstellung in Kluftrosen- Dia- grammen	38
3.4	Korrelation der Auswerteergebnisse der Linea- ment- und der hydrogeologischen Karte	41
3.5	Abhängigkeit isländischer Quellen von den Bruchsystemen des Landes	42
4.	<u>EINSATZ VON VERFAHREN DER FERNERKUNDUNG UND PHOTOGRAMMETRIE FÜR DIE INTERPRETATION VON BRUCHEN, GEWÄSSERNETZ UND QUELLEN IM UNTER- SUCHUNGSGEBIET HENGILL, SÜDWEST-ISLAND</u>	46
4.1	Tektonik und Geologie im Untersuchungsgebiet Hengill	46
4.2	Einsatz multitemporaler TM-Daten	51
4.3	Erstellung eines Orthophotos aus dem Bereich des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli	55
4.4	Vergleich von Luftbild- und Satellitenbild- Lineamenten, Gewässernetz- und Geländedaten	57

5.	<u>ANALYSEN UND BEWERTUNGEN DER UNTERSUCHTEN ISLANDISCHEN MINERALQUELLEN, SAUERLINGE UND AKRATOPEGEN</u>	62
5.1	Thermalausstritte in Hochtemperatur-Gebieten	62
5.1.1	Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli, Hengill-Gebiet	64
5.1.2	Thermalquelle Stórhver, Thermalgebiet am Torfajökull	69
5.1.3	Thermalwasser des Explosionskraters Viti, Dyngjufjöll	73
5.1.4	Thermalquelle Nedri Hveradalir, Thermalgebiet Kerlingarfjöll	76
5.1.5	Thermalsole Kraftwerk Svartsengi, Halbinsel Reykjanes	79
5.1.6	Weitere Hochtemperatur-Regionen	84
5.2	Mineralquellen und Säuerlinge in Niedrigtemperatur-Gebieten - hier Halbinsel Snaefellsnes	87
5.2.1	Bestimmung des Begriffs "Ölkelda"	90
5.2.2	Ölkelda Raudamelur	91
5.2.3	Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda	93
5.2.4	Ölkelda Brautarholt	97
5.2.5	Ölkelda Lysuhóll auf dem Gelände des ehemaligen Schwimmbads	100
5.2.6	Ölkelda Lysuhóll, Bohrstelle	103
5.2.7	Ölkelda Bjarnarfosskot	107
5.2.8	Ölkelda Hraunhafnardalur	112
5.2.9	Ölkelda Vallnahnúkur	114
5.2.10	Ölkelda Olafsvík	117
5.2.11	Ölkelda Grundarfjörður	120
5.3	Mineralquellen und Säuerlinge in Niedrigtemperatur-Gebieten - hier Südost-Inland	125
5.3.1	Ölkelda Höfn	125
5.4	Akratopegen im Süden Islands	129
5.4.1	Eisenhaltige Akratopege Fremriháls, Esja-Gebirge, Südwest-Inland	129
5.5	Trinkwasser von Reykjavík	134
6.	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	137
7.	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	141
8.	<u>ANLAGEN</u>	157
8.1	Verzeichnis der Abbildungen	157
8.2	Verzeichnis der Tabellen	159
8.3	Verzeichnis der Analysen	160
8.4	Verzeichnis der Karten 1-6	160

ANHANGCHEMISCHE BESTANDTEILE DER UNTERSUCHTEN ISLANDISCHEN
WASSER

	Seite
a) Calciumhaltige Wässer	1
b) Magnesiumhaltige Wässer	2
c) Eisenhaltige Wässer	3
d) Sulfathaltige Wässer	4
e) Hydrogencarbonat-Wässer	6
f) Natrium-Chlorid-Wässer	8
g) Kochsalzarme Wässer	10
h) Jodhaltige Wässer	11
i) Fluoridhaltige Wässer	12
j) Kohlensäure-Wässer	13
k) Kieselsäurehaltige Wässer	14
l) Weitere chemische Bestandteile	15

Danksagung

Beweggrund für diese Arbeit ist die enge, langjährige Verbindung zu Island. Geländeerkundungen, Aufzeichnungen am Boden und aus der Luft sowie wiederholte Untersuchungen an Quellen machten eine Erfassung der geologischen, photogeologischen und hydrogeologischen Daten des Landes während der letzten Jahre möglich.

Anstoß zu der Arbeit gab mein Lehrer, Herr Prof. Dr. J. Bodechtel, Leiter der Arbeitsgruppe Fernerkundung am Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München. Sein Ratschlag und seine Anregung gaben mir den Mut, diese Untersuchung neben meiner Tätigkeit in der Arbeitsgruppe durchzuführen. Dafür und für die fachlichen Diskussionen sei ihm mein herzlicher Dank ausgesprochen.

Herrn Prof. Dr. Grimm danke ich für die Möglichkeit wiederholter Gespräche und die eingehende Behandlung hydrogeologischer Probleme.

Herrn Prof. Dr. H. Miller, Leiter des Instituts für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München, sei für die Benutzung der Einrichtungen und Geräte im Institut, vor allem aber für seine kritische Beratung gedankt.

Herrn Prof. Dr. D.D. Klemm gilt mein Dank für seine hilfreiche Unterstützung, die zum Fortgang dieser Arbeit wesentlich beitrug.

Die Beschaffung einer TM-Szene neueren Datums aus dem Bereich des Hengill-Gebiets ermöglichte Herr P.D. Dr.F.Jaskolla. Ihm sowie den Herren Dr. J. Henkel und Dipl. Geol. S. Jutz, die diese Satellitenbilder abspielten, sei an dieser Stelle gedankt. Herr Dipl. Geol. J. Muschalek führte eine Reihe von Reinzeichnungen durch, Herr L. Hauck erledigte einen großen Teil der photographischen Arbeiten. Beiden gilt mein Dank.

Ganz besonders möchte ich Herrn Prof. Dr. K. Höll, Laboratorium für Wasseruntersuchungen, Hannover, für die 16-jährige enge Zusammenarbeit danken. Er stand mir zur Seite und gab die wissenschaftliche Anleitung zu den vorliegenden Analysenauswertungen in seinem Labor, - all dies trotz seines hohen Alters von 88 Jahren.

Herrn Dr. M. Stephani, Lehrstuhl für Photogrammetrie der TU München danke ich für die Hilfe und Beratung bei der Erstellung des Orthophotos am Planicomp, dessen Ausgabe am Orthocomp der Flurbereinigung München vorgenommen wurde.

Dem Nationalen Forschungsrat Rannsóknarád Ríkisins von Island habe ich für die Erteilung eines Research Permit (Appl. Nr. 58, 1986) zu danken, das mich berechtigte, im Gelände die notwendigen Untersuchungen und Probenentnahmen vorzunehmen.

Des weiteren geht mein Dank nach Island an die Herren Dr. Einar Siggeirsson, den Dirigenten Páll P. Pálsson, den Klarinettenisten Sigurdur Ingvi Snorrason, Jón Sigurdsson, sowie Ingi Thorbjörn Thorbjörnsson für ihre Unterstützung.

Dem Piloten Herrn Elieser Jónsson und seinem Sohn Jón, Reykjavík, sei für die oft unter sehr schwierigen Überfliegebungsbedingungen durchgeführten Flüge über die Insel besonders gedankt, zumal ein Teil der von mir gemachten Aufnahmen in dieser Arbeit verwendet werden konnte.

Für die Freigabe aller Senkrecht-Luftbilddaufnahmen habe ich Herrn Agúst Gudmundsson, Leiter von Landmaelingar Islands, Reykjavík, sehr zu danken, denn durch seine Großzügigkeit bei der Beschaffung der Aufnahmen und der geodätischen Paßpunkte konnten die diversen photogrammetrischen Auswertungen vorgenommen werden.

Zielsetzung

Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, das Gewässernetz, Quellvorkommen und die Bruchsysteme auf Island zu untersuchen und mit Verfahren der Fernerkundung und Photogrammetrie aufzuzeigen, ob und inwieweit hier ein Zusammenhang besteht. Die Ergebnisse sind mit den Erfahrungen der Geländearbeit zu vergleichen und zu überprüfen.

Als Arbeitsunterlagen dienen ein Satellitenbild-Mosaik aus 9 Szenen, eine Lineamentkarte und Lineament-Rosen von Island zur Untersuchung der geotektonischen Strukturen sowie eine hydrogeologische Karte und Gewässernetz-Rosen, ebenfalls von ganz Island.

Die Themenstellung wird in einem regional begrenzten Gebiet, der Hengill-Region, vertieft; darüber hinaus wird versucht, die Lage und Anordnung von Quellen zu bestimmen und neue Quellbereiche zu lokalisieren.

Zur Verfügung stehen multitemporale und -spektrale Satellitendaten aus dem Untersuchungsgebiet, Luftbilder aus verschiedenen Aufnahmehöhen und ein Orthophoto, das in verzerrungsfreier Projektion eine photogeologische Kartierung, d.h. eine exakte Identifizierung ermöglichen soll.

Um Auskunft über den Charakter isländischer Quellen, über ihre chemischen Eigenschaften und ihren Nutzen zu erhalten, werden speziell 17 Wässer in Hochtemperatur- und Niedrigtemperatur-Gebieten analysiert und ihre Beziehung zur regionalen Geologie untersucht. Dort wo Proben bereits in früheren Jahren untersucht worden waren, ist festzustellen, ob Veränderungen, z.B. in der Schüttung und Konzentration, eingetreten sind.

In der folgenden Einführung soll zunächst ein kurzer Überblick über die geologisch-tektonische Entwicklung Islands und die Entstehung seiner Bruchsysteme gegeben werden.



1. EINFÜHRUNG IN DIE GEOLOGISCH-TEKTONISCHE ENTWICKLUNG ISLANDS

Die Entstehungsgeschichte Islands und die Bewegungsvorgänge seiner Strukturen sind eng mit der Bildung des Nordatlantiks bzw. dem Prozeß der Kontinentaldrift verbunden.

Im Alttertiär setzte mit intensiven vulkanischen Aktivitäten die Teilung des Kaledonischen Gebirges in eine West- und eine Ostflanke und damit die Abtrennung Grönlands von Europa ein. Zeugen der Eruptionen sind die Basaltvorkommen an den Rändern der von den Färöer Inseln bis Grönland reichenden Schwelle, wie z.B. in West- und Ostgrönland, den Färöer Inseln, den Orkney Inseln und im Nordwesten Schottlands. Diese Flutbasalte wurden lange Zeit als Reste eines z. T. im Ozean versunkenen Plateaus, der sog. Thule-Basalt-Provinz, angesehen. Radiometrische Bestimmungen ergaben aber unterschiedliche Alterswerte bei den Basalten und widerlegten damit diese Hypothese.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen zudem nach Tessensohn (1976), daß die Alterszonen der Gesteine symmetrisch zu beiden Seiten des Mittelatlantischen Rückens angeordnet sind: in beiden Randbereichen des Atlantiks liegen die am weitesten entfernten Basalte eozänen Alters, beiderseits von Island und in den Randgebieten der Insel Basalte miozänen Alters sowie Basalte pleistozänen bis holozänen Alters im Zentrum von Island, d.h. entlang der neo-vulkanischen Zone, und auf der gleichfalls vulkanisch aktiven Insel Jan Mayen. Diese Symmetrie spricht u.a. dafür, daß im Tertiär der Nordatlantik vom Mittelatlantischen Rücken aus nach Ost und West auseinanderdriftete.

Vor rund 16 Mio Jahren entstanden auf der Kreuzung der Grönland-Färöer-Schwelle und des Mittelatlantischen Rückens aus Spaltenergüssen erneut Plateaubasalte - die ältesten Gesteine Islands, die im Osten und Westen des Landes an den Fjorden zu finden sind.

Der Mittelatlantische Rücken mit einer Kammhöhe von etwa 1000 bis 2000 m und einer Länge von ca. 15.000 km ist überwiegend aus tholeyitischen Basalten aufgebaut. Erdbebenepizentren markieren seinen Verlauf. Wie bei allen mittelozeanischen Rücken so ist auch hier ein Streifenmuster magnetischer Anomalien parallel zur Achse auf dem Ozeanboden zu finden - wobei nach Sigurgeirsson (1967) die Achsen-Anomalie auf dem Rückenkamm positiv ist. Sie wird an den Flanken des Rückens jeweils von einer negativen Anomalie begleitet - ein Muster, das sich in symmetrischer Folge wiederholt.

Ward (1971) spricht von mindestens 3 Drift- bzw. Spreading-perioden im nordatlantischen Raum, in denen entlang des Mittelatlantischen Rückens flüssige Basaltlaven aus dem Erd-

mantel aufstiegen und ständig neue Ozeankruste schufen. Der Beginn der ersten wird von ihm auf die Zeit vor etwa 70 bis 60 Mio Jahren datiert. Eine Periode sehr langsamen Auseinanderdriftens ca. 38 bis 9 Mio. Jahre vor unserer Zeit wurde von den jüngsten Aktivitäten abgelöst, die damit vor etwa 10 bis 9 Mio Jahren einsetzten.

Auch nach Saemundsson (1974) erfolgte die Drift in Schüben, d.h. nicht kontinuierlich, wie die Schichtlücken zwischen den tertiären und quartären Basalten vermuten lassen. Sie müssen durch eine beschleunigte Drift ausgeglichen worden sein. Auch die heute im Norden und im Süden Islands unterschiedlichen Breiten der neo-vulkanischen Zone werden als Beweis für ein ungleichmäßiges Driften angeführt. Die Bestätigung seiner Überlegungen fand Saemundsson in der Entdeckung der heute nicht mehr aktiven Driftachse Langjökull - Skagi (Abb. 1).

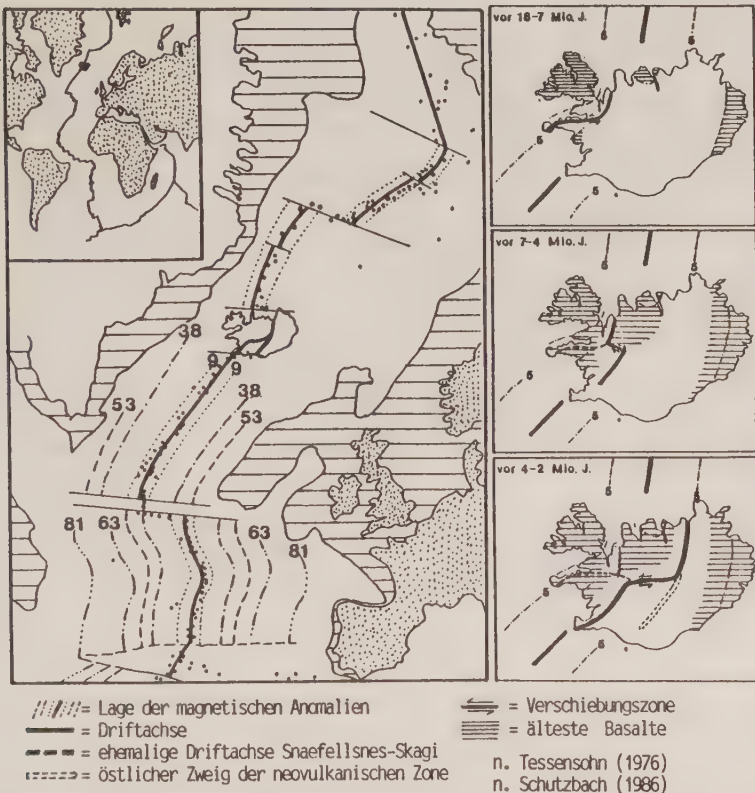


Abb.1: Mittelatlantischer Rücken mit magnetischen Anomalien und Entwicklung der Driftzone auf Island

Auskunft über die unterschiedliche Driftgeschwindigkeit in den einzelnen Bereichen Islands geben die radiometrischen und paläomagnetischen Altersbestimmungen an den Basalten sowie der jeweilige Abstand der Gesteinsvorkommen zu der Driftachse der neo-vulkanischen Zone, d.h. des isländischen Zentralgrabens (Abb.2).

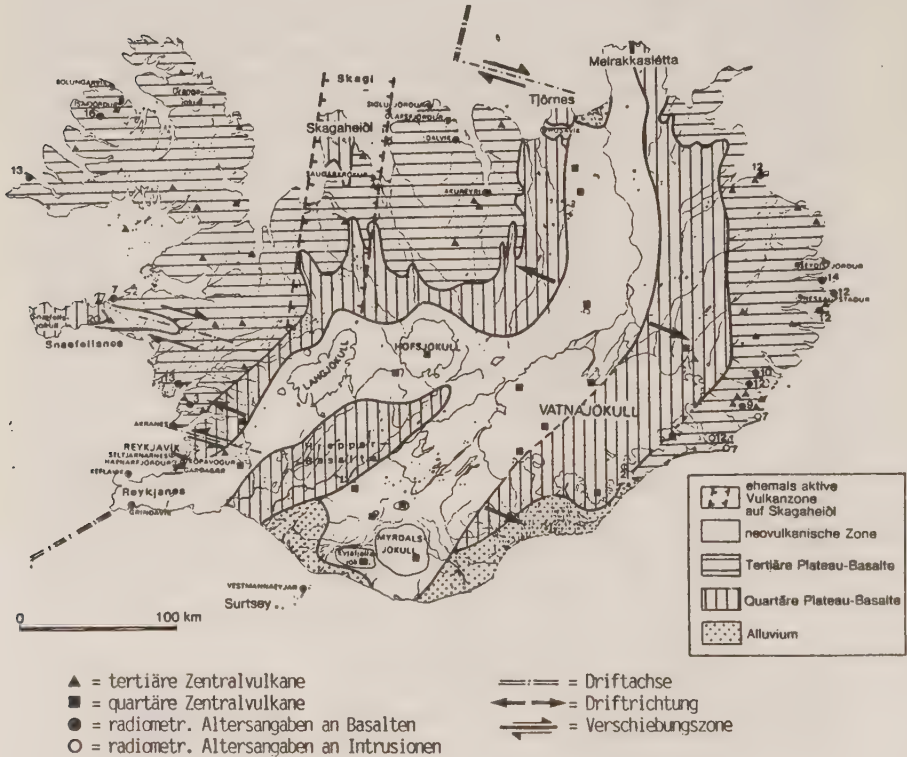


Abb.2: Geo-tektonische Karte von Island (abgeändert n. Saemundsson 1979)

Laut Tessensohn (1976) beläuft sich nach magnetischem Streifenmuster und paläomagnetischer Zeitskala die Driftgeschwindigkeit nördlich und südlich von Island sowie auf der Insel selbst in den letzten 10 Mio Jahren auf etwa 1 cm pro Jahr.

Ward (1971) nennt für den Reykjanes Rücken und den Jan Mayen Rücken gleichfalls eine Driftrate von 1 cm pro Jahr im gleichen Zeitraum, spricht aber bei Island von einer Dehnungsrate von etwa 2 cm pro Jahr. Andere Autoren erwähnen für Nordisland 2-7 cm pro Jahr.

Die unterschiedliche Driftgeschwindigkeit führt zu Spannungen, die an Verschiebungszonen, den Transform-Faults, ausgeglichen werden. Immer wieder werden die linearen, längsgerichteten Elemente des Mittelatlantischen Rückens an derartigen Querstörungen seitlich versetzt (Abb. 1). Auf Island selbst sind die Transform-Faults morphologisch nur wenig ausgeprägt.

Mit diesem Fragenkomplex befassen sich u.a. Ward (1971), Schäfer (1972), Wilson (1973), Saemundsson (1974, 1979), Walker (1975) und Jóhannesson (1982). So können nach Ward Transform-Faults vor allem anhand von Erdbebenepizentren identifiziert werden, wie sie z.B. auf Island an der Nordküste, im Südwesten und in schwächerer Form westlich des Langjökull Gletschers vorkommen. Wilson spricht davon, daß Horizontalverschiebungen dieser Art dazu dienen, die Relativbewegungen zwischen zwei Segmenten des Mittelatlantischen Rückens zu übertragen bzw. transformieren.

Beispiele sind die Verschiebung der aktiven Vulkanzone nördlich von Island in der Norwegischen See vor 18-13 Mio Jahren auf die heutige Position des Island - Jan Mayen Rückens; die Verlagerung der Südhälfte der ehemaligen Snaefellsnes - Vatnsnes - Skagaheidi Driftachse vor 7 - 6,5 Mio Jahren um rund 70 km nach Osten und damit die Entwicklung der Reykjanes - Langjökull Driftachse; die Verlagerung der Nordhälfte der ursprünglichen Snaefellsnes-Vatnsnes-Skagaheidi Zone vor 4 Mio Jahren um etwa 160 km ebenfalls nach Osten; die Bildung einer weiteren aktiven Vulkanzone vor ca. 2 Mio. Jahren parallel zur Reykjanes - Langjökull Achse vom Zentrum des Landes bis zum Gletscher Tindfjallajökull und ihre Erweiterung seit der letzten Eiszeit über den Myrdalsjökull bis zu den Vestmannaeyjar Inseln.

Damit durchquert heute die Driftzone, d.h. die neo-vulkanische Zone, Südisland mit 2 parallel versetzten Zweigen in SW-NE Richtung, vereinigt sich im Zentrum des Landes zu einem gemeinsam S-N streichenden Streifen und setzt sich im Norden bis zur Atlantikküste fort (s. Abb. 2). Der Struktur der neo-vulkanischen Zone entsprechend überwiegen auf Island die linearen Elemente, sie sind dieser Zone angepaßt.

Die Existenz der Tjörnes Transform-Fault, einer Bruchzone im Norden, kann wohl auf Grund seismischer Daten angenommen, aber selbst heute morphologisch noch nicht endgültig bewiesen werden. Sie erstreckt sich entlang der Küste vom Axarfjörður über die Halbinsel Tjörnes in SE-NW bis ESE-WNW Richtung und setzt sich über die Insel Grimsey bis zum Kolbeinsey Rücken fort.

Eine ebenfalls starke seismische Aktivität ist in Südwest-Island gegeben. Hier kamen wie auch im Norden die bisher größten Erdbeben vor. Als Reykjanes Transform-Fault zieht diese Störungszone in ESE-WNW Richtung in etwa vom Vulkan Hekla über die südlichen Teile der Hreppar-Basalte zum See Thingvallavatn und dem nördlichen Bereich der Halbinsel Reykjanes. (Ward 1971, Saemundsson 1974/1979, Einarsson, Eiríksson 1982).

Im Westen schließlich wird vor allem von Schäfer (1972) eine weitere Zone von Querstörungen vermutet, die Snaefellsnes-Vatnajökull Transform-Fault, wenn hier auch nur wenige Erdbeben registriert werden konnten. Ihre tektonischen Richtungen verlaufen wie in Nordisland von SE-NW bis ESE-WNW.

Verschiedene Autoren wie Wilson (1973), Saemundsson (1974,1978), Tessensohn (1976) und Björnsson (1981) haben versucht, einige Aspekte der isländischen Entwicklungsge-schichte als Folge des Wirkens von Hot Spots zu erklären. Wilson versteht unter Hot Spots Stellen in der Erdkruste, die sich durch einen starken, lokal begrenzten Vulkanismus und hohen Wärmefluß auszeichnen. Tiefliegendes Mantelmateriale wird in aufsteigenden Säulen, den mantle plumes, an die Oberfläche gefördert. Hot Spots sollen sich im allgemeinen unter kontinentalen oder ozeanischen Platten sowie auf Driftachsen befinden. Saemundsson lokalisiert einen solchen Hot Spot, der vor etwa 27 Mio Jahren aktiv wurde, direkt unter Zentralisland, Björnsson unter Ostisland. Mit dieser Hypothese lassen sich u.a. die anomale Krustendicke bzw. die Höhenlage der Insel und die Streifenmuster der magnetischen Anomalien erklären. Auch die Achsen-Verschiebungen der neo-vulkanischen Zone nach Osten, die Entstehung der Zentralvulkane und der in Richtung auf die Randgebiete Islands abnehmende Vulkanismus gehören hierher (Abb. 2).

Eine Kombination von Driftprinzip und Hot-Spot-Hypothese könnte dazu beitragen, die unterschiedlichen, z.T. widersprüchlichen Merkmale Islands und seines Umfeldes zu einem geschlossenen Strukturbild zusammenzufügen. Die Auswirkungen des Driftens sind jedenfalls für Island wesentlicher Bestandteil seiner Entwicklung.

2. THERMALGEBIETE UND QUELLWASSER AUF ISLAND

Geothermale Aktivität ist in nahezu allen Gebieten auf Island anzutreffen. Eine Ausnahme bildet der Osten, der kaum Zeichen einer solchen Tätigkeit aufweist. So treten hier nur relativ wenige heiße oder warme Quellen auf. Fridleifsson (1979) führt dies darauf zurück, daß die Gänge und Verwerfungen von den Tälern und Fjorden in relativ kurzen Abständen durchkreuzt werden. Der Durchfluß des Wassers wird damit unterbrochen, es kann nicht genügend Wärme aus dem Wärmefluß des Bodens aufnehmen und speichern.

1910 begann Thorkelsson erstmals, die heißen Quellen des Landes zu untersuchen. Bodvarsson stellte Überlegungen zur Theorie der Geothermik an, denen Meßserien in Bohrlöchern folgten (Bodvarsson, Pálmason 1961). Ein hydrologisches Modell wurde entwickelt über die Wechselwirkung von heißem Gestein und meteorischen Wässern mit dem Ergebnis, daß seither in Island die Thermalgebiete nach Niedrigtemperatur- und Hochtemperatur-Regionen aufgeteilt und unterschieden werden.

Die Niedrigtemperatur-Gebiete erreichen bei einer Tiefenstufe von 1000 m Temperaturen von 100° C; den oberen Grenzwert geben Bodvarsson et al. (1961) mit 150° C an. Entsprechend liegen die niedrigsten Temperaturen in den Hochtemperatur-Gebieten über 150° C, meist werden aber Werte von 200° C bis 300° C in 1000 m Tiefe registriert. Messungen in 2000 m Tiefe ergaben maximale Temperaturen von 340° C. Diese hohen Werte werden von dem aus der Mantelsphäre aufsteigenden Wärmestrom erzeugt. In den nicht-vulkanischen Gebieten Mitteleuropas wird demgegenüber auf 1000 m Tiefe, bei einer geothermischen Tiefenstufe von 1° C pro ca. 30 m, eine Temperaturerhöhung von ca. 30° C gemessen. Carlé (1980) beziffert in seiner Arbeit den Wärmefluß in der "normalen Erdkruste", also auf Kontinenten oder in Tiefseebereichen, mit 1,5 HFU; auf den ozeanischen Rücken aber mit durchschnittlich 7 HFU, gebietsweise mit sehr viel mehr. Die Relation von Wärmeeinheit und Flächeneinheit wird in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) ausgedrückt; 1 HFU (heat flow unit) beträgt 62,7 W/m^2 .

Die Hochtemperatur-Gebiete liegen ausnahmslos in dem Bereich der vulkanischen Riftzone (Kap. 5.1, Abb. 31 und Karte 4). Ihre Zahl beläuft sich nach dem neuesten Stand der Forschung auf mindestens 22 (Fridleifsson 1979). Die Niedrigtemperatur-Gebiete befinden sich dagegen außerhalb dieser Zone, d.h. in tertiären und gleichfalls quartären Bereichen (Kap. 5.2, 5.3, Abb. 31 und Karte 4).

Der Wärmefluß im Boden ist ein entscheidender Faktor für den Charakter der Wasseraustritte in den Geothermal-Regionen. Sehr häufig kommen heiße Quellen von 45°-100°C in den Niedrigtemperatur-Gebieten vor, in denen derzeit kein aktiver Vulkanismus anzutreffen ist. Als Folge des einstigen Vulkanismus, d.h. durch aufgedrungene Intrusivkörper, wird immer noch Wärme abgegeben und das Wasser aufgeheizt.

Eines der größten Systeme heißer Quellen liegt am Borgarfjörður, andere sind am Breidafjörður, auf der Nordwest-Halbinsel, am Skaga- und am Eyjafjörður etc. Das Wasser ist meist meteorischen Ursprungs und alkalisch in der Beschaffenheit (Fridleifsson 1979, Georgsson et al. 1984).

In Gebieten des jungen Vulkanismus, in der neo-vulkanischen Zone Islands, sind die heißen Quellen seltener. Dampfquellen, d.h. Solfataren und Fumarolen, Schlammflöcher und eine intensive Gesteinszersetzung kennzeichnen die Landschaft. Vertreten sind in den Gebieten des jungen Vulkanismus oft auch mineralarme Thermen mit mindestens 20° C Temperatur, die Akratothermen oder Wildwässer (Hildebrandt 1985/86). Die Wässer sind meist sauer.

Eine klare Unterscheidung heißer und warmer Quellen in Island nach ihrer Lage in den Thermalzonen ist aber nicht möglich. Beide Typen liegen oft beieinander wie auf der Nordwest-Halbinsel oder am Eyjafjörður. In dem Niedrigtemperatur-Gebiet der Halbinsel Snæfellsnes überwiegen die warmen bis kalten Säuerlinge bei weitem. Geysire gibt es, wie Fridleifsson (1979) feststellt, in Hochtemperatur-Regionen wie auf Reykjanes und im Haukadalur, aber auch in Niedrigtemperatur-Bereichen wie im Reykholtisdalur in West-Island.

3. DIE LAGE ISLÄNDISCHER QUELLEN UND IHR BEZUG ZU DEN BRUCHSYSTEMEN DES LANDES

Die im Gelände vielfach zu beobachtende lineare Anordnung der zahlreichen Quellen bzw. ihre Konzentration an Brüchen deuten an, daß zwischen dem tektonischen Geschehen und den Wasseraustritten vadoser und juveniler Art eine enge Verbindung besteht. Die rezenten, in einheitlicher S-N Richtung orientierten Spaltenbrüche und die mit ihnen zusammenhängenden Quellaustritte, die Veränderung oder das Versiegen von Quellen in der Region an der Krafla in Nordisland weisen z.B. darauf hin.

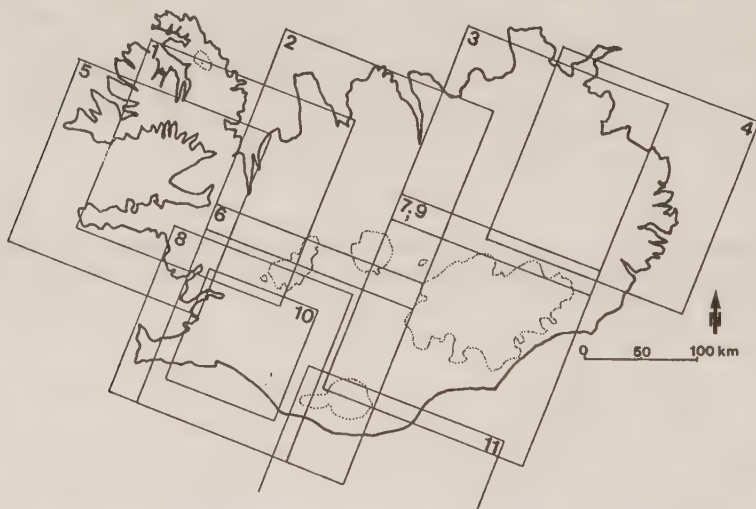
In den folgenden Abschnitten soll eine Strukturanalyse anhand von Lineamenten dazu beitragen, die Relation von Bruchtektonik, d.h. den Riftzonen bzw. den Folgen kontinuierlicher Spreadingraten, und der Lage der Quellen aufzuzeigen. Erstmals wurden auf der Basis von Satellitenbildern Lineamente von ganz Island erfasst, wobei festzustellen ist, daß sich gerade dieses Land infolge seiner exponierten geographischen Lage im subpolaren Bereich und der damit gegebenen dünnen Vegetationsdecke besonders gut für eine Lineamentkartierung aus Luft- und Satellitenbildern eignet.

3.1 Erstellung einer Lineament-Statistik über die tektonisch-vulkanischen Zusammenhänge auf Island mit Hilfe von Fernerkundungsdaten

Seit dem ersten Umlauf des geowissenschaftlichen Satelliten ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) bzw. nun Landsat im Jahre 1972 wird in zunehmendem Maße national und international versucht, Satellitendaten für die Interpretation geologischer und tektonischer Phänomene zu verwenden. Auswerteergebnisse der letzten 15 Jahre haben auf dem Gebiet der Fernerkundung gezeigt, daß es sinnvoll ist, bei der ersten Satellitengeneration, dem Landsat-MSS, der eine Bodenpixelgröße von 79 x 79 m hat, von einem maximalen Auswertemaßstab von 1:200.000 auszugehen; bei der verbesserten Version des Landsat-TM mit einer Bodenpixelgröße von 30x30 m bzw. durch eine digitale Auflösungsverbesserung nach der Methode Cubic Convolution von 10 x 10 m können die Bilder bis zu einem maximalen Maßstab von 1:25.000 ausgewertet werden (Bodechtel, Haydn 1975, Siegal et al. 1980, Kronberg 1984,1985). Die bei der Luftbilddauswertung gewonnenen Erfahrungen in der Interpretation aus niedrigerer Höhe konnten ohne Schwierigkeiten auf die Verarbeitung von Satellitendaten übertragen werden. Die Kriterien für den photogeologischen Schlüssel sind weitgehend identisch.

Daß sich der Einsatz von Bildverarbeitungsprozessen mit Satellitendaten für die Lösung geowissenschaftlicher Fragestellungen im Fall Island bewährt hat, zeigen u.a. die Arbeiten von Williams, Bödvarsson, Rist et al. (1975), Bodechtel, Hiller, Münzer (1979), Münzer, Bodechtel (1980), Williams (1983), Jaskolla (1986).

Die in dieser Arbeit verwendeten Satellitenszenen werden in Tab. 1 aufgelistet und ihre jeweiligen Positionen über Island angegeben. Es ist zu bemerken, daß bedingt durch die ungünstigen Witterungsverhältnisse die Auswahl an verfügbaren Satellitendaten relativ gering ist. Mit den 9 Szenen, die zum Teil in Form von digitalen CCT-Bändern, aber auch als normale Abzüge im Maßstab 1:1 Mill. vorlagen, konnte Island mit seiner Ausdehnung von rund 103.000 km² nahezu flächendeckend erfaßt werden. In Anpassung an die diversen Auswertungen (Karten 2,3,4,5) wurde ein Satellitenbild-Mosaik von Island im Maßstab 1:1 Mill. (Karte 1) erstellt.



Nummer	Aufnahmedatum	Bestellnummer	SUN	EL	AZ	Wolkenbedeckung	Aufnahmesystem	CCT Kanal
1	19. 10. 1972	E 1088-12305	14	169		50%	MSS	kein 7
2	19. 8. 1973	E 1392-12185	36	161		5%	MSS	ja 5,7
3	30. 5. 1976	E 2494-11503	44	156		5%	MSS	ja 5,7
4	14. 10. 1972	E 1083-12021	15	169		10%	MSS	kein 7
5	31. 7. 1979	E 1651-14091	40	153		25%	MSS	ja 5,7
6	19. 8. 1973	E 1392-12191	37	159		5%	MSS	ja 5,7
7	22. 9. 1973	E 1426-12070	25	164		0%	MSS	ja 5,7
8	22. 5. 1985	220 / 15	45	158		25%	TM	ja 3,4,5
9	31. 1. 1973	E 1192-12084	7	162		10%	MSS	ja 5,7
10	7. 9. 1986	219 / 15	30	158		0%	TM	ja 3,4,5
11	22. 9. 1973	E 1426-12073	26	163		25%	MSS	kein 7

Tab. 1:
Position und Daten der verwendeten Satellitenbild-Szenen von Island

3.1.1 Definition des Begriffs "Lineament"

Die einschlägige Literatur macht deutlich, daß bis zum heutigen Tage eine einheitliche, allgemein akzeptierte Definition des Begriffs "Lineament" nicht gegeben ist. Die Meinungen und Interpretationen sind unterschiedlich ebenso wie die Fachausdrücke.

So spricht Hobbs in seinen Arbeiten 1904 und 1912 von Lineamenten als "signifikanten Linien einer Landschaft" oder "den Charakterlinien der Physiognomie der Erde" und erwähnt dabei auch das Vorhandensein seismotektonischer Lineamente. Für Hill (1915) ist ein Lineament eine sich im Gelände auf große Distanz abzeichnende Zone oder Abgrenzung. Sonder (1938) dagegen nennt die einzelnen Merkmale bzw. Einzellinien oder Zonen "Lineare" bzw. "Zonen" und verwendet den Terminus "Lineament" in einem allgemeinen, regionalen Sinn: "Das Lineament einer Region bezeichnet also eine bestimmte Richtung, die in der Tektonik, in der Klüftung und in dem Relief enthalten ist". So prägte er auch den Begriff "Lineamentsystem", das aus 2 mechanisch koordinierten Lineamenten besteht, die sich unter einem annähernd rechten Winkel kreuzen. Ein Linear dagegen kann bei ihm eine Hauptklüft sein, die tektonisch sehr tätig war. Hauptlineare können aus einer Schar von Parallelklüften bestehen. Sonder spricht bei der Interpretation in kleinen Maßstäben immer von "Linearen" und nicht von Bruchlinien, Klüften oder Spalten. Die "Zonalen" unterteilt er in konkordante Zonale, d.h. im Boden parallel vorhandene Lineamentrichtungen und in diskordante Zonale, die quer zu den maßgebenden Lineamenten verlaufen.

Lineamente werden aber auch nach ihren Erfassungsmethoden unterteilt in Luftbild-Lineamente, Satellitenbild-Lineamente oder nach ihrer Länge. Versuche, die Lineamente in "fracture traces" bis 0,8 km und in "lineaments" von 1-50 km zu unterteilen, wie von Lattmann (1958), List (1969) durchgeführt, sind heute nicht mehr üblich. Sinnvoll erscheint es jedoch, um Mißverständnisse auszuschließen, von "Luftbild- oder Satellitenbild-Lineamenten" zu sprechen. Jaskolla (1978) hält dies dann für richtig, wenn auf die von O'Leary et al. (1976) festgelegten Definitionen zurückgegriffen wird.

Die Definition des Begriffs Lineament wie auch die von Linear und Lineation wurden in einer grundlegenden Studie von O'Leary, Friedman und Pohn (1976) erarbeitet und lautet: "Ein Lineament ist ein kartierbares, einfaches oder zusammengesetztes, linear ausgeprägtes Merkmal einer Oberfläche, dessen Teile gradlinig oder leicht gebogen ausgerichtet sind und das sich deutlich von den Anordnungen benachbarter Merkmale abhebt und mit aller Wahrscheinlichkeit ein unterirdisches Phänomen erkennen läßt". Ferner befürworten O'Leary et al., daß das Wort "linear" nur als Adjektiv, d.h. nicht wie bei

Sonder auch als Substantiv, verwandt wird; es soll den linienartigen Charakter eines oder mehrerer Objekte beschreiben. Lineation schließlich ist nach ihrer Definition eine ein-dimensionale strukturelle Ausrichtung der inneren Bestandteile eines Gesteins, die nicht auf einer Karte als individuelles Merkmal eingetragen werden kann.

Die obige Definition des Lineaments von O'Leary et al. setzt sich immer mehr durch. Neuere Arbeiten von Jaskolla (1978), Kaufmann (1986), Atallah (1986) und Kohlhammer (1986) - um nur einige zu nennen - lehnen sich im wesentlichen an sie an.

Daubrée (1880) war vielleicht der erste, der darauf hingewiesen hat, daß geregelte Orientierungen, wie z.B. in Flußnetzen, verbreitete Erscheinungen sind, die mit den Klüftsystemen der Erdoberfläche zusammenhängen. Im skandinavischen Raum erstellte Sederholm (1913) einen Bruchlinien- bzw. Klüftungsplan von Fennoskanien. Sein Klüftungs- und Reliefbild erhielt durch ein abstraktes Linienschema erstmalig einen statistischen Inhalt, den Hobbs, Kjerulf auswerteten. Aus einer Unzahl von Linien kamen deutlich orientierte Ordnungen hervor, die Kjerulf anregten, systematisch orientierte Bruchsysteme anzunehmen. Systematische Klüftmessungen folgten von Teichert (1927); sie zeigen im Bereich von Estland dominierende Kluftrichtungen, wie sie auch in den Hobbs-Kjerulf-Kluftrosen auftreten.

Seit den Arbeiten von Sonder (1938) haben sich nur wenige Wissenschaftler mit dem Phänomen der Lineamente in Island befaßt. Zu nennen sind die Ergebnisse von Schäfer (1972), der sich mit Hilfe von Luftbilddauswertungen und detaillierten Geländearbeiten mit dem Problem der Snaefellsnes-Vatnajökull Transform-Fault auseinander gesetzt hat. Sie zeigen, daß eine große Anzahl der im Luftbild auskartierten Lineamente sich mit den im Gelände festgestellten Störungen, Verwerfungen und Spalten decken. Mit Hilfe neuer Aufnahmedaten von SEASAT-SAR wurden vergleichende Untersuchungen zu Landsat-MSS Daten für eine geologische Kartierung und Erfassung von Lineamenten von Bodechtel, Hiller, Münzer (1979) durchgeführt. Münzer, Bodechtel (1980) versuchten durch Satellitenbilddauswertungen mit Hilfe der Bildverarbeitung morphologische Strukturen in den Eisbereichen des Vatnajökull auszukartieren, die sonst wegen der hohen Albedo des Eises nicht sichtbar sind. Die Lineament-Auswertung und die statistische Interpretation ergaben eine volle Übereinstimmung mit den tektonischen Gegebenheiten der untersuchten Bereiche. In einer neueren Arbeit unternahm es Jaskolla (1986), besonders in dem Umfeld des Sees Thórisvatn und im Bereich der Laki-Spalte aus TM-Daten und SEASAT-SAR-Daten u.a. linienhafte Strukturen in Relation zu den Bruchsystemen der Gebiete zu setzen.

3.1.2 Bestimmung von Lineamenten im Satellitenbild

Die Techniken der Photointerpretation werden heute bei den Produkten photographischer Verfahren und auch bei digital aufgezeichnetem und verarbeitetem Bildmaterial angewandt. Einen ausführlichen Überblick über die Möglichkeiten der Luft- und Satellitenbild-Interpretation geben u.a. das "Manual of Interpretation" und das "Manual of Remote Sensing" der American Society of Photogrammetry (1960/1983), Sabins (1978), Lillesand, Kiefer (1979), Siegal, Gillespie (1980) und Kronberg (1984/85).

Kaufmann (1986) befaßt sich ausführlich mit dem Thema eines photogeologischen Schlüssels, d.h. mit Kriterien wie Signatur, Textur, Muster, Lagebeziehung und Morphologie und den entsprechenden Unteraufteilungen. Jaskolla (1978) geht stärker auf die Differenzierungsmöglichkeiten ein und beschreibt nicht nur die genetischen Merkmale von Lineamenten, sondern vor allem auch die Bedeutung von Grauton, Textur, Farbton und Farbwert. In einer weiteren Untersuchung von Landsat-TM und SEASAT-SAR Daten (1986) versteht Jaskolla unter linearen Strukturen nicht nur die tektonischen Elemente im engeren Sinn, sondern auch andere Phänomene, wie z.B. das Gewässernetz, lineare Anordnungen von Kratern oder Spuren des Verlaufs von Eisbewegungen. Selbst auf der Eisoberfläche des Vatnajökull, Europas größter zusammenhängender Eisfläche, pausen sich derartige Strukturen noch durch (Münzer, Bodechtel 1980).

Bei der vorliegenden Lineamentauswertung konnte also von den für eine Interpretation notwendigen und üblichen Differenzierungsmerkmalen ausgegangen werden. Die Satellitenaufnahmen (Landsat-MSS, Kanal 5,7 und Landsat-TM, Kanal 4) im Auswertemaßstab von 1:500.000 erwiesen sich für diesen Zweck als gut geeignet.

Mit dieser Arbeit wird vorgeschlagen, die Lineamente nach Strukturen einzuteilen, die für Island typisch sind. Werden sie nach den Ursachen ihres Entstehens gegliedert und auf Island mit seinen geologisch-tektonischen Gegebenheiten bezogen, so ergeben sich folgende Gruppen:

- Lineamente vulkanischen Ursprungs, postglazialen bis rezenten Alters
- Lineamente tektonischen Ursprungs, postglazialen bis rezenten Alters
- Lineamente tektonisch-magmatischen Ursprungs, miozänen bis pleistozänen Alters.

Als vulkanogen zu interpretierende Lineamente sind z.B. die Kraterketten, die sich auf die neo-vulkanische Zone im Norden und Süden des Landes wie auch z.T. auf ihre Randbereiche konzentrieren. Sie entstanden durch Eruptionen, die aus Spalten erfolgten (Abb. 4-12).

Rein tektonischen Ursprungs sind die Dehnungs- oder Zerrspalten in den aktiven Regionen in Nord-Island oder die Spaltenbrüche, Fiederspalten und Verwerfungen im Südwesten (Abb. 13-20).

Der dritte Typ, die Lineamente tektonisch-magmatischen Ursprungs, kann besonders gut in den tertiären Flutbasaltbereichen im Nordwesten und Osten Islands beobachtet werden, da hier die Entwicklung bereits abgeschlossen ist. Es handelt sich um Dehnungsrisse, in denen magmatisches Material aufgedrungen ist; sie können sich als Gangfüllungen über viele Kilometer erstrecken. Die sich kreuzenden Gänge stehen meist recht- oder spitzwinkelig zueinander (Abb. 21,22).

3.1.3 Gegenüberstellung von linearen Strukturen im Satellitenbild und Luftbild

Nachfolgend werden Beispiele für diese drei typisch isländischen Lineament-Arten gebracht, indem einige auf dem Satellitenbild-Mosaik (Karte 1) sichtbaren linearen Strukturen mit denen auf entsprechenden Luftaufnahmen verglichen werden.

Beispiele für vulkanogene Lineamente

- Die Eldgjá (Abb. 3-6) ist die größte vulkanogene Spaltenschlucht Islands. Sie kann auf den Satellitenbildern (Abb. 4 und Karte 1, G/6,7) in ihrer ganzen Länge von 30 km von SW-NE streichend verfolgt werden. An ihrer Entstehung sind neben den explosiven Vorgängen hauptsächlich auch grabenartige Einbrüche beteiligt. Larsen (1979) datiert den Ursprung der Eldgjá auf 930 - 950 n. Chr.

Im Bereich des Berges Gjátindur ist ihre Ausprägung am besten zu erkennen (Abb. 6). Der Spaltenbruch mit alkali-olivinbasaltischen Lavafüllungen auf dem Grund hat dort eine Länge von 5 km, eine Breite bis zu 600 m und eine Tiefe von ca. 150 m (Abb. 5,6). Parallel zur Eldgjá verläuft, wie auf Abb. 5 zu sehen, rund 3 km nordwestlich ein aus Palagonit und Hyaloklastit aufgebauter Bergrücken, der ebenfalls als Lineament erscheint.



Abb. 3: Lage der ausgewählten Lineament-Typen auf Island

Beispiele für vulkanogene Lineamente

- 1 Eruptionsspalte Eldgjá (Abb. 4-6)
- 2 Kraterkette der Laki-Spalte (Abb. 7-8)
- 3 Explosionskrater Vatnaöldur - Veidivötn (Abb. 9)
- 4 Kraterketten Raudhólar (Abb. 10)
- 5 Palagonitrücken bei Langisjór (Abb. 11)
- 6 Kraterreihe Lúdentsborgir - Threngslaborgir (Abb. 12)

Beispiele für tektonische Lineamente

- 7 Spaltenschwärme bei Theistareykir (Abb. 13)
- 8 Dehnungsspalten im Vulkangebiet an der Krafla (Abb. 14)
- 9 Spalten und Verwerfungen des Thingvellir-Grabens (Abb. 16-18)
- 10 Verwerfungen am Kaldidalur (Abb. 19-20)

Beispiele für tektonisch-magmatische Lineamente

- 11 Gangfüllungen südlich des Gläma (Abb. 21 li.)
- 12 Gangfüllungen am Balafjöll (Abb. 21 re.)
- 13 Gänge und Spalten westlich des Sees Hredavatn (Abb. 22)

- Die Laki-Spalte, eine Kraterkette von ca. 25 km Länge (Abb. 3,7,8), entstand im Jahre 1783. Rund 13 km³ tholeyitischer Laven wurden damals gefördert; sie bedecken eine Fläche von ca. 565 km². Während auf dem Satellitenbild diese südöstlich der Eldgjá liegende Kraterkette nur als feine Linie mit einer SSW-NNE Streichrichtung erkannt werden kann (Karte 1, G/6,7), sind auf dem Senkrecht-Luftbild (Abb. 7) bzw. der Schräg-Luftaufnahme (Abb. 8) deutlich einzelne der etwa 115 Krater entlang einer Spalte auszumachen. Sie erreichen Höhen von wenigen Metern bis max. 50 Meter.
- Das Gebiet Vatnaöldur und Veidivötn, das zwischen der Thermalregion am Torfajökull und dem Vatnajökull liegt, gehört zu einer über 50 km langen, ebenfalls SSW-NNE ziehenden Vulkanreihe (Abb.3,9). Unter anderem führte eine phreatische, stark explosive Tätigkeit zu der Bildung von großen Sprengkratern, maar-ähnlichen Sprengkratern und Tuffringen. Ähnlich wie die Eldgjá oder die Laki-Spalte ist auch dieses vulkanische Spaltengebiet im Satellitenbild (Karte 1, G/6) nur an den dünnen, SSW-NNE ziehenden Linien in parallelen Staffeln zu erkennen.
- In den Zyklus der als Kraterketten interpretierten Lineamente gehören auch die südöstlich der Laki-Spalte liegende Kraterkette Raudhólar und die neben ihr liegenden, subglazial entstandenen Palagonitrücken. Aufgebaut aus Palagonit und Hyaloklastit paßt die SSW-NNE streichende Zone in das Gesamtbild dieser Region. Die Senkrecht-Luftaufnahme (Abb.10) läßt mehrere, parallel versetzte Kraterreihen erkennen, die bis unter die Gletscherzunge des Sidujökull ziehen.
- Auch im Norden sind ähnliche Strukturen gegeben. So quert in der Nähe des Wasserfalls Dettifoss eine sehr schmale, S-N streichende Störung des Sveina-Grabens den Fluß Jökulsá á Fjöllum. Sie wird von zahlreichen kleinen Vulkankegeln begleitet. Einmal mehr zeigt sich hier, daß in Island vielfach das Streichen der Vulkanzone und der Verlauf der tektonischen Zerrspalten einander angepasst sind und beide die gleiche Richtung einnehmen. Die Reihe der Vulkankegel ist im Satellitenbild (Karte 1, I/3,4) als Lineament zu erkennen.
- Gleiches gilt für die Spaltenausbrüche der Kraterreihen Lúdentsborgir und Threngslaborgir (Abb. 3). Unregelmäßig gestaltete, kleine Schweißschlackenkegel mit schachtartigen Schloten, Hornitos und Spalten kennzeichnen die insgesamt 8-9 km langen Lúdentsborgir-Threngslaborgir Kraterreihen. Der Hauptausfluß der Laven erfolgte vor ca. 2000 Jahren in westliche Richtung. Die Abb. 12 zeigt neben einer Luftaufnahme eine Skizze der Ausbruchstadien nach Rittmann (1960).



Abb. 4:

Ausschnitt einer Satellitenaufnahme Landsat-MSS (vom 22.9.1973, Kanal 7) mit Lage der Eruptionsspalte Eldgjá (1), der Kraterkette Laki (2) und der Krater bei Vatnaöldur-veidivötn (3); Lage s. Abb. 3

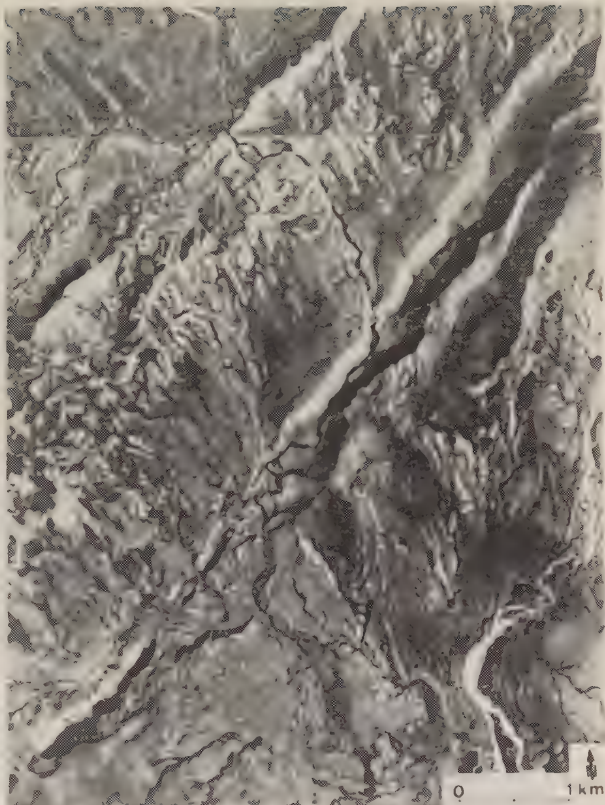


Abb. 5:

Ausschnitt einer Luftbildmontage vom 9.8.1960, Nr. 9785,9786 der Eruptionsspalte Eldgjá (Freigabe durch Landnaelingar Islands) Lage s. Abb. 3

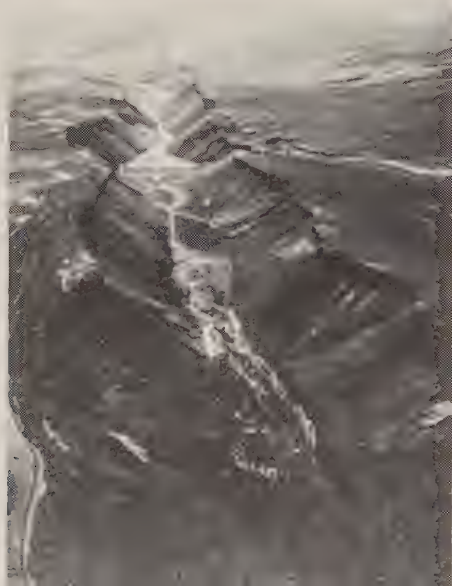


Abb. 6:

Schräg-Luftbildaufnahme der Eruptionsspalte Eldgjá in südwestlicher Blickrichtung. Aufnahmedatum 14.8.1986; Lage s. Abb. 3

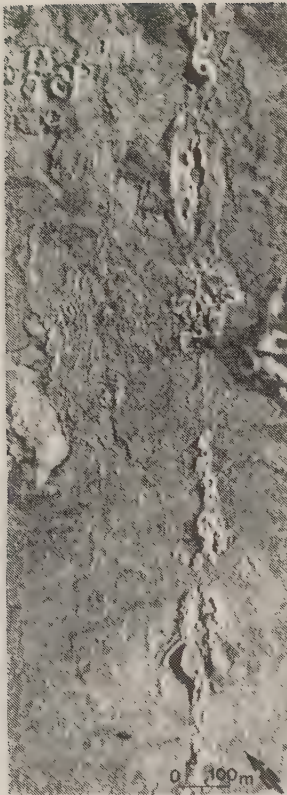


Abb. 7:
Ausschnitt der Luftaufnahme vom 17.8.1960,
Nr. 11075 mit einigen Kratern der Laki-
Spalte (Freigabe durch Landnaelingar Is-
lands); Lage s. Abb. 3



Abb. 8:
Schräg-Luftaufnahme der Laki-Spalte in nordöstliche
Blickrichtung mit dem Gletscher Sidujökull im Bild-
hintergrund. Aufnahmedatum 14.8.1986; Lage s. Abb. 3



Abb. 9:
Ausschnitt der Luftaufnahme vom 16.8.1960,
Nr. 11048 mit Explosionskratern bei Vatna-
öldur-Veidivötn (Freigabe durch Landnaelin-
gar Islands); Lage s. Abb. 3



Abb. 10:

Ausschnitt einer Luftbildmontage mit dem nordöstlichen Bereich der Kraterketten Raudhólar. Luftaufnahme vom 17.8.1960, Nr. 11080-81 (Freigabe durch Landnaelingar Islands); Lage s. Abb. 3

- 1 = Gletscherzunge des Sidujökull mit Ascheablagerungen
- 2 = nordöstlicher Bereich der Kraterketten Raudhólar (3) mit Hauptkrater Raudhólar
- 3 = parallel versetzte Kraterketten (SSW-NNE Richtung)
- 4 = subglazialer Verlauf der Raudhólar Kraterkette
- 5 = Gletschersee
- 6 = periglaziale Bereiche

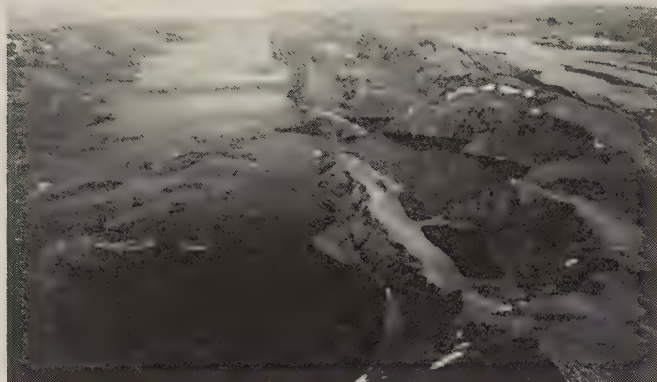


Abb. 11: Schräg-Luftbildaufnahme vom 14.8.1986 mit subglazial entstandenen Bergrücken bei Langisjör (Ausrichtung SW-NE). Blickrichtung der Aufnahme nach NE mit Gletscherzunge Tunгнаärjökull im Bildhintergrund; Lage s. Abb. 3

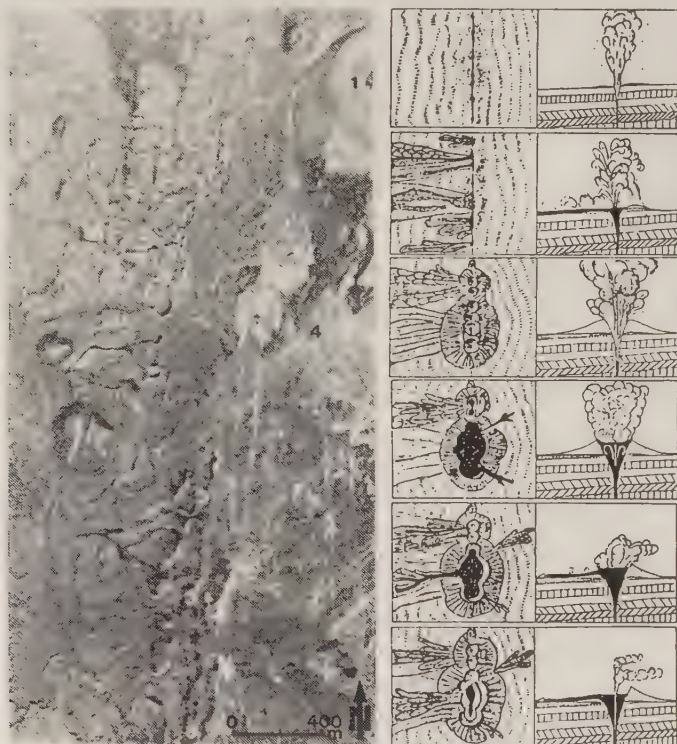


Abb. 12: Ausschnitt einer Luftaufnahme der linearen Spalteneruption Lüdentsborgir und Threngslaborgir mit Entwicklungsphasen der Linear-Eruptionen (nach Rittmann 1960). Luftbildaufnahme vom 9.6.1979, F-mýnd, Nr. 7871 (Freigabe durch Land-maelingar Islands); Lage s. Abb. 3

1 = Lüdent Krater
2 = Lüdentsborgir

3 = Threngslaborgir
4 = Aussaat von Grassamen und Dünger vom Flugzeug

Beispiele für tektonische Lineamente

- Sehr gut können tektonisch geprägte Strukturen im Norden, im Bereich der Leirhnjúkur-Spalte beobachtet werden, sowie in dem durch starke Horizontal- und Vertikalbewegungen beanspruchten Gebiet bei Gjástykki (Abb.3). Letzteres wird seit den ersten geodätischen Arbeiten von Niemczyk (1943) und später Gerke et al. (1978), Möller (1980), Spickernagel (1980) immer wieder auf unterschiedliche Driftbewegungen hin untersucht. Während der Ausbruchphase 1975-84 wurde das gesamte Gebiet von deutlich ausgebildeten, S-N streichenden Zerrspalten durchzogen.

Abb. 13 gibt das tektonische Geschehen im Bereich des subglazial gebildeten Baejarfjall und seiner zahlreichen parallelen Staffelbrüche (fissure swarms) wieder. In der Abb. 14 wird die schneebedeckte Gegend der Leirhnjúkur-Spalte gezeigt mit den zahlreichen, ebenfalls S-N streichenden Spaltenschwärmen rezenten Datums. Entlang der Spalten sind sogar Magmaaustritte (schwarze Flächen) zu erkennen. Im Satellitenbild erscheinen alle diese S-N gerichteten Spaltenschwärme als Lineamente.

- Ein klassisches Beispiel isländischer Tektonik nennen Schwarzbach, Noll (1971) das Gebiet um den See Thingvallavatn. Zahlreiche, km-lange, offene Spalten durchziehen in SSW-NNE streichender Richtung die Lavafelder des Thingvallahraun. Der Thingvellir-Graben wird, wie aus den Abb. 3, 16-18 ersichtlich, im Westen von der Spalte Almannagjá und im Osten von der Hrafnagjá begrenzt (außerhalb des Luftbildes). Nach SW zieht sich der Graben bis in das Testgebiet Hengill (Kap. 4.1). Niemczyk (1943) stellte u.a. im Gebiet der Almannagjá an 18 Spalten eine Gesamtdehnung von 41,2 m und im Bereich der Hrafnagjá an 23 Spalten eine Dehnung von 33,8 m fest. Nach seinen Messungen betrug die Dehnung 1,25 % der Gesamtbreite von 2,7 km. Weitere geodätische Messungen ergaben 1965/66 eine Dehnungs- und Senkungsrate von 8 mm.
- Auch die rund 40 km nordöstlich von Thingvellir liegenden gestaffelten Verwerfungen am Kaldidalur kommen mit ihrer SSW-NNE Streichrichtung in der Lineamentkarte (Karte 2, E/5) voll zur Geltung. Sie markieren die Grenze des Westteils der neo-vulkanischen Zone. Die Luftaufnahmen (Abb. 19,20) zeigen die Hauptverwerfung mit einem Versatzmaß von schätzungsweise mehr als 10 m Höhe; der Ostflügel ist mit Geröll und Sand des Gletschers Thórisjökull aufgefüllt (Abb. 3).



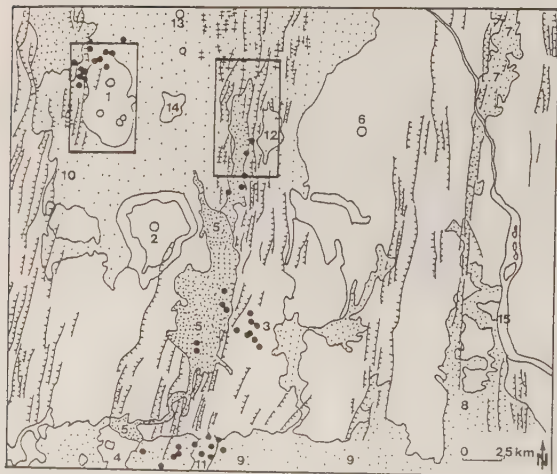
Abb. 13: Ausschnitt einer Luftaufnahme mit den Spaltenschwämmen bei Theistareykir (Nord-Island). Luftaufnahme vom 24.8.1960, Nr. 13394 (Freigabe durch Landmaelingar Islands); Lage s. Abb. 3

- 1,2 = subglazial entstandener Tafelberg Baejarfjall (1) und Kviðarfjall (2)
- 3 = Lavafeld Borgarhraun
- 4 = Vulkan Mælifell



Abb. 14: Ausschnitt einer Luftaufnahme des Vulkangebiets an der Krafla mit dem Lavaström vom 22.10.1980 und Spaltenbrüchen. Neuschnee bedeckt die Landschaft. Luftaufnahme vom 22.10.1980, G-mynd, Nr. 0639 (Freigabe durch Landmaelingar Islands)

- 1 = Lavaström (18. - 24.10.1980)
- 2 = Berg Hrótafjöll
- 3 = Spalten



- 1 = Tafelberg Baejarfjall
- 2 = Tafelberg Gaesafjöll
- 3 = Quellen an der Krafla
- 4 = Myvatn-See
- 5 = Lavaström Leihnjúkshraun
- 6 = pleistozäne Bereiche
- 7 = Kraterkette Randarhólar
- 8 = Sveina-Graben
- 9 = Lavafeld Búrfellshraun
- 10 = Lavafeld Borgarhraun
- 11 = Námafjall
- 12 = Hrótafjöll
- 13 = Theistareykjabunga
- 14 = Thórunnarfjöll

Abb. 15: geologisch-tektonische Karte aus dem Bereich Myvatn-Námafjall-Krafla mit den beiden Luftbildausschnitten der Abb. 13 und Abb.14; Lage s. Abb. 3



Abb. 16: Ausschnitt einer Luftbildmontage vom nordöstlichen Bereich des Sees Thingvallavatn mit den Verwerfungen des Thingvellir-Grabens und seinen Spalten; Lage s. Abb. 3.
Luftaufnahmen vom 20.8.1982, G-mynd, Nr. 4877,4889 (Freigabe durch Landnaelingar Islands)



Abb. 17: Schrag-Luftbildaufnahme von Friedenspalten am südwestlichen Ende der Almannagjá, Blickrichtung nach NE, Aufnahmedatum 12.8.1986



Abb. 18: Schrag-Luftbildaufnahme der Spalte Almannagjá am See Thingvallavatn, Blickrichtung nach SW, Aufnahmedatum 18.8.1986



Abb. 19: Ausschnitt einer Luftbildmontage von den Verwerfungen am Kaldidalur. Luftbildaufnahmen vom 5.9.1978, F-mynd, Nr. 0367,0423 (Freigabe durch Landmaelingar Islands) ; Lage s. Abb. 3

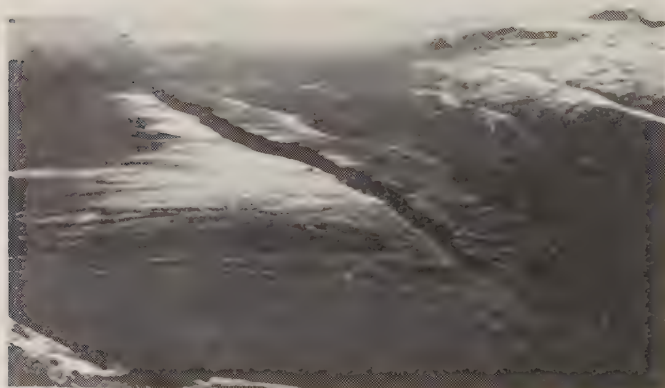


Abb. 20: Schrägluftaufnahme in südwestlicher Blickrichtung mit den Verwerfungen am Kaldidalur. Die Länge der großen Verwerfung beträgt ca. 6 km, Sprunghöhe mehr als 10 m. Aufnahmedatum 15.8.1986

Beispiele für tektonisch-magmatische Lineamente

- Im Bereich der tertiären Flutbasalte auf der Northwest-Halbinsel und im Osten Islands durchkreuzen ausgeprägte Gangstrukturen die Landschaft, die z. T. als Rippen herausgewittert sind. Es handelt sich um Ausfüllungen von Klüften und Rissen mit basaltischem Material. Entlang des Reydarfjördur soll eine Dehnung von 4,6 % bei Aufaddierung der Dicke aller Gänge gegeben sein, am dicht daneben liegenden Berufjördur sogar von 6 % (Walker 1959).
- Wie auf der Abb. 21 der Northwest-Halbinsel zu erkennen ist, durchziehen südlich des Berges Gláma und am Balafiöll tektonisch-magmatische Gangstrukturen, meist in Form von spitzwinkelig (d.h. kleiner als 45°), aber auch 45° und 90° zueinanderstehenden Scherbrüchen, die tholeyitischen Basalte (Abb. 3). Sie sind ausgesprochen gute Wasserleiter (Sonder 1941, Carlé 1980).

Die Auswertung der Satellitenbilder im Maßstab 1:500.000 erlaubt nur groß angelegte Strukturen zu identifizieren; bei Strukturen wie denen in Abb. 21 muß auf Luftbilder zurückgegriffen werden. Bei der statistischen Auswertung der Lineamentkarte (Karte 2,3) konnten daher nur tektonische Großstrukturen wie am See Hredavatn (Abb. 3,22) erfasst werden.

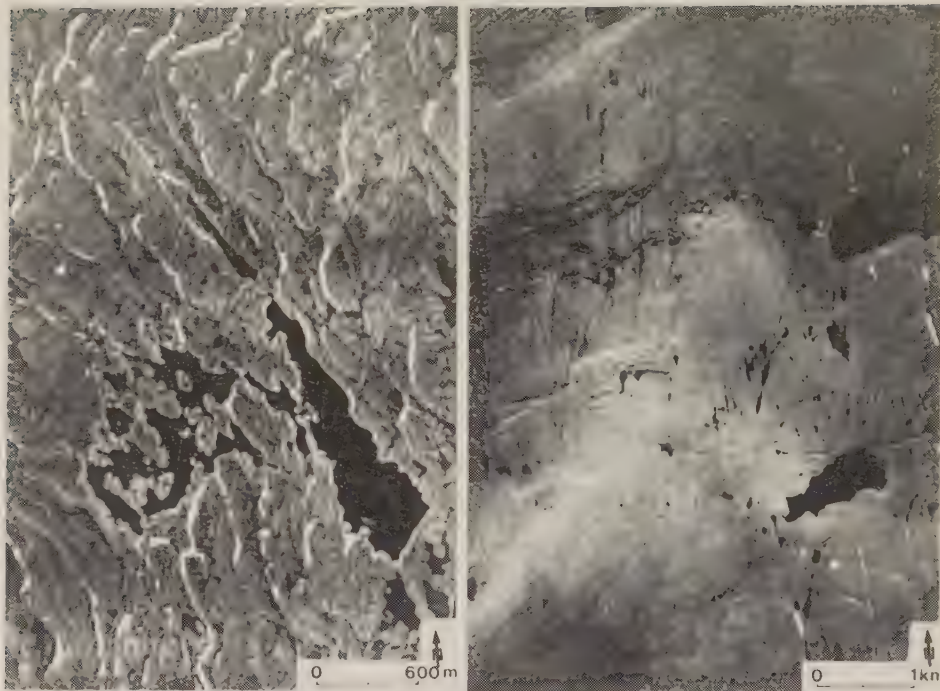


Abb. 21: Ausschnitt von Luftaufnahmen aus dem Bereich tertiären Flutbasalte NW-Islands mit recht- und spitzwinkelig zueinander stehenden Gangfüllungen. Lage der li. Abb. ist südlich der Gläma, der re. Abb. am Balafjöll (s. Abb. 3)
 Linke Luftbildaufnahme vom 27.7.1983, G-mýnd, Nr. 9211; rechte Luftbildaufnahme vom 30.8.1976, F-mýnd, Nr. 0793 (Freigabe durch Landmaelingar Islands)



Abb. 22: Schräg-Luftbildaufnahme von glazial überprägten tertiären Flutbasalten westlich des Sees Hredavatn mit ESE-WNW (li. unten nach re. oben) und SSW-NNE (li. oben nach re. unten) ziehenden Spalten und Verwerfungen. Die Aufnahme wurde am 12.8.1986 mit Blickrichtung nach Westen aufgenommen.

3.2 Interpretation der Satellitenbild-Lineamentkarte

Wie in den Kapiteln 3.1.1 und 3.1.2 ausgeführt, wurde aufbauend auf den Erkenntnissen anderer Autoren erstmals eine Gesamt-Lineamentkarte von Island auf der Basis von verschiedenen Satellitenbildern erstellt (Karte 2).

Bei der Auswertung wurden die Lineamente als Dehnungsrisse, Zerrspalten, Staffelbrüche, Verwerfungen sowie als lineare Kraterketten, Bergrücken und Täler identifiziert. Von Lockermaterial, d.h. Asche und Sanden zugedeckte Randspalten und kleinere Spaltenzüge wurden ebenso erfaßt, wie die durch Flußläufe geprägten geradlinigen Elemente.

Bereits im Jahr 1938 hatte Sonder eine Karte von Island mit Spaltennetzen konstruiert; er benutzte vor allem drei Quellen für die geometrische Orientierung: Aus der dänischen Generalstabskarte entnahm er die topographischen Formen Islands, aus der geologischen Karte von Thoroddsen die geologisch-tektonischen Daten und durch Kluftmessungen im Gelände die Kluftorientierung.



Abb.23: Lineamenttektonische Skizze von Island mit Lage der Quellen aus dem Jahr 1938 von Sonder (geringfügig abgeändert)

Seine "Lineamenttektonische Skizze von Island" (Abb. 23) zeigt bereits, daß in der jungen Tektonik vor allem Zerrspalten auftreten, die in der Regel dem Streichen des vulkanischen Streifens folgen. So verlaufen nach der Interpretation Sonders die Spalten im Norden hauptsächlich S-N, im Südwesten SW-NE; offen blieb, ob im zentralen Teil Islands, d.h. unter den Eismassen des Vatnajökull, ein Umschwenken der einen Richtung in die andere stattfindet oder ob beide Richtungssysteme sich kreuzen. Die relativ wenigen und meist in der Richtung von Sonder zu lang interpretierten "Lineare" (z.T. über 50 km) erlauben keine weiteren Schlüsse auf das tektonische Verhalten der Insel. Insgesamt wurden von ihm 658 lineare Strukturen bestimmt (eigene Lineamentkarte 17632). Bei der Auswertung der topographischen Unterlagen konnte Sonder aber feststellen, daß geometrische Elemente, wie z.B. parallele Geraden, konstante Winkel, Äquidistanzen häufig vorkommen. Bergzüge, Abbruchstufen, Talachsen, Seeufer und Höhenzüge folgen meist bestimmten statistisch erfassten Orientierungen.

Auch Bernauer (1943) beschreibt das Vorherrschen von Längsstörungen in Island, die im Gelände als eindeutige Strukturen auftreten. Täler, Wasserläufe, Berghänge, Quelllinien, Spalten und Vulkanreihen bevorzugen nach ihm die gleiche Richtung. Diesen durch Zugspannung bedingten Längsstörungen stehen Vertikalbewegungen, d.h. Hebungen und Senkungen, gegenüber, die im Gelände von ihm als Gräben, Rücken, kesselartige Einbrüche oder als gehobene Blöcke gedeutet werden. Neben den Längsstörungen gibt es auch Querstörungen. Nach Bernauer sind sie jedoch nirgends in Form von Zerrspalten ausgeprägt.

Island ist ein Musterbeispiel für die Erkennung geometrisch-tektonischer Elemente in der Landschaft. Die spärliche oder fehlende Vegetation in subpolaren Breiten erlaubt es, auch untergeordnete lineare Strukturelemente ohne weiteres zu bestimmen. So ist hier das kluft- und störungstektonische Gefügeinventar in einer Lineament-Auswertung voll erfaßbar.

Der Vergleich des Lineament-Plans von Sonder aus dem Jahr 1938 mit der Weiterentwicklung auf der Basis der eigenen Satellitenbild-Auswertung aus dem Jahr 1988 (Karte 2) zeigt am Beispiel der Halbinsel Snaefellsnes neben den SW-NE und ESE-WNW Lineamenten auch betonte S-N Strukturen. Gleiche Richtungen werden trotz einer viel geringeren Belegungsdichte auch auf der Lineamentkarte von Sonder registriert (Abb. 24).

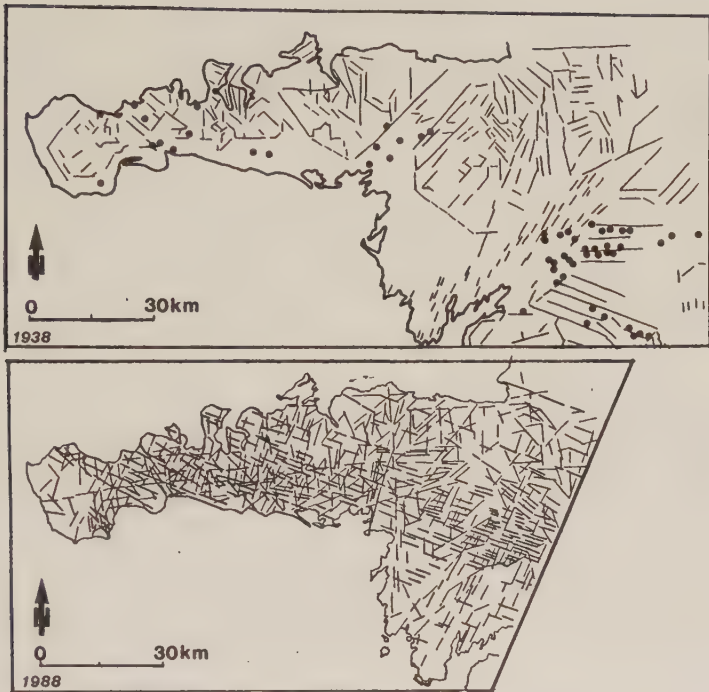


Abb.24: Gegenüberstellung der Lineamentkarte von Sonder (1938) mit Lage der Quellen und der eigenen Satellitenbild-Auswertung (1988) von der Halbinsel Snæfellsnes.

Der erhöhte Informationsgehalt, der durch die größere Dichte und genauere Lagebestimmung mit Hilfe geometrischer Korrekturen erreicht wird, ermöglicht neue Perspektiven bei der Auswertung satellitengestützter Daten.

Grundlage für die Interpretation der eigenen Lineamentkarte sind die Satelliten-Szenen (Kap. 3.1.2), die zu verschiedenen Jahreszeiten aufgenommen wurden, meist aber aus den Sommermonaten stammen. Es hat sich gezeigt, daß die Sonnenelevation (SUN EL) bei der Erfassung spektraler Signaturen eine maßgebende Rolle spielt. Für die Lineamentkartierung ist der Sonnenazimut (AZ) von großer Bedeutung. Beide Faktoren wurden bei der Auswertung berücksichtigt (Tab. 1). Untersuchungen über die verschiedenen Richtungshäufungen, verursacht durch den Beleuchtungsstand und die Vegetation, wurden u.a. von Bodechtel, Nithack (1974) durchgeführt.

Die Aufnahmesysteme der Erderkundungssatelliten, Landsat-MSS und Landsat-TM, mit ihren unterschiedlichen Daten sind in einer Vielzahl von Veröffentlichungen beschrieben worden. Mit dem Einsatz solcher Daten, speziell bezogen auf Island, befaßten sich u.a. Williams et al. (1975), Bodechtel, Hiller, Münzer (1979), Münzer, Bodechtel (1980), Williams (1983), Jaskolla (1986).

Bei den eigenen Auswertungen der Landsat-MSS Daten wurden die Kanäle 5 (0,6 - 0,7 μm) und 7 (0,8 - 1,1 μm) und bei den Landsat-TM-Daten der Kanal 4 (0,76 - 0,90 μm) mit Informationen aus dem Spektralbereich des nahen Infrarot und des Rot-Bereichs benutzt. Die Interpretation erfolgte anhand von schwarz-weiß Abzügen im Maßstab 1:500.000.

Bis auf wenige Bereiche entlang der Nordküste, über die Satellitendaten nicht vorrätig waren, oder dort wo Wolken wie im Nordwesten und Osten die Landflächen verdecken, konnten überall Interpretationen durchgeführt werden. Die entsprechenden Flächen sind im Satellitenbild-Mosaik (Karte 1) ausgespart oder erscheinen in der Lineamentkarte (Karte 2) gepunktet. Mit computertechnischen Kontrastverstärkungen des CCT-Datenmaterials (Münzer, Bodechtel 1980) wurden selbst die Eisflächen Islands mit rund 11200 km^2 Fläche, d.h. die des Vatnajökull, des Lang-, Hofs- und Myrdalsjökull etc., ausgewertet (Karte 2); insgesamt wurden über 90 % der ca. 103.000 km^2 großen Insel erfaßt und ihre Lineamente festgehalten.

3.2.1 Auswertung und Darstellung in Kluftrosen-Diagrammen

Die genaueste Aussage bei einer Lineament-Interpretation geben derzeit wohl die Richtungsanalysen von Lineamenten, die zumeist in Form von Rosen dargestellt werden (Smolka 1977, Jaskolla 1978, Atallah 1986). Für die Auswertung von Lineamentkarten entwickelte Henkel (1982) mehrere Software-Programme, wie z.B. LINEBN, LINDIG für den HP-Tischrechner und den dazugehörenden Digitalisierertisch.

Über diverse Rechenprogramme, die Eingabe von 4 Blatteck-Koordinaten und das Digitalisieren der Lineamente mittels eines Impulsgeberstiftes am Anfangs- und Endpunkt wurden Häufigkeit, Gesamtlänge und mittlere Länge von Lineamenten pro Richtung in 10° Schritten, aufgegliedert nach Gebieten, ermittelt.

Eine getrennte Berechnung der Häufigkeit (Anzahl der Lineamente) und der Länge pro Richtung war wichtig, um unterschiedliche Größenordnungen an Lineamenten pro Richtungseinheit besser unterscheiden zu können. Schlüsse konnten auch aus der Dichte der Lineamente, d.h. der Lineamentlänge (km) pro Flächeneinheit (km^2), gezogen werden.

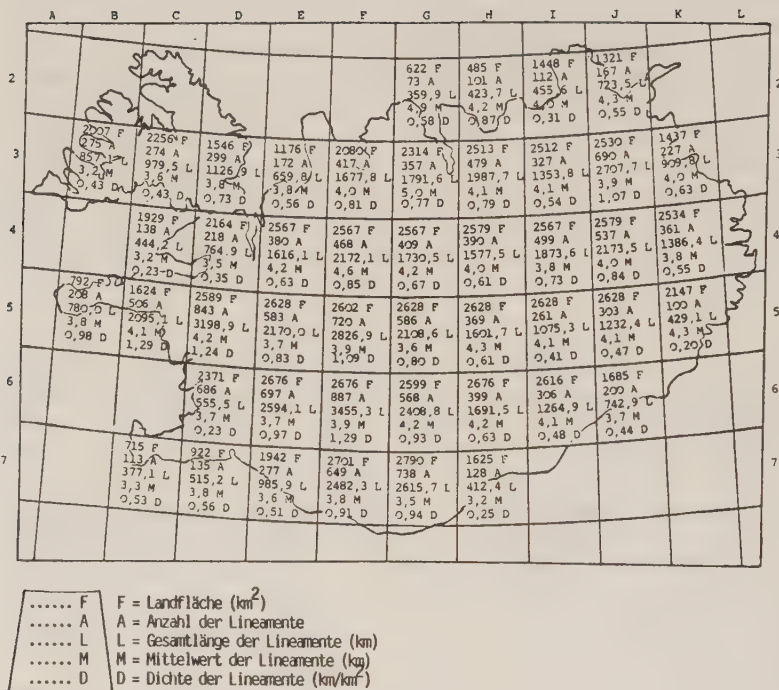
Die ausgewählten Gebiete wurden nicht nach den geologischen Einheiten Islands, d.h. der neo-vulkanischen Zone, den quartären und tertiären Basaltbereichen erfaßt, da in der Aufsummierung aller Lineament-Informationen über einen größeren Bereich hinweg alle Richtungen in einem Diagramm erscheinen würden und eine eindeutige Aussage über den Richtungsverlauf somit nicht möglich wäre. Vielmehr wurde Island nach Längen- und Breitengraden in einzelne Quadrate aufgeteilt (Karte 3), die auf der Abszisse in A,B,C, ... F und auf der Ordinate von Nord nach Süd in 2,3,4, ... 7 untergliedert sind. Jedes Quadrat enthält eine Richtungsrose; die Häufigkeit (Anzahl) der Lineamente pro 10° Sektor ist auf der rechten Rosenhälfte vermerkt und entsprechend die Länge der Lineamente pro 10° Sektor auf der linken Hälfte. Einen Größenvergleich von Anzahl und Länge pro Richtungseinheit erlauben die beiden Maßstabsbalken in den unteren Ecken der Quadrate.

Bei der Interpretation der linearen Strukturen auf den einzelnen Satellitenbildern und der anschließenden Compilierung zu einer Gesamtkarte (Karte 2) wurden insgesamt 17.632 Lineamente erfaßt. Die Gesamtlänge der 46 Rosen beläuft sich auf 69.646 km.

Die Lineament-Rosen (Karte 3) zeigen Unterschiede in der Belegung; die Anzahl der Lineamente reicht von 73 im Feld G/2 im Bereich der tertiären Basalte des Nordens bis zu 887 im Feld F/6 in der Hreppar-Serie zwischen den beiden vulkanischen Streifen im Süden des Landes. Die geringste Gesamtlänge von 257,07 km ist in den tertiären Flutbasalten Nordwest-Islands (B/3) und die größte Gesamtlänge von 3.455,10 km in der Hreppar-Serie (F/6) zu finden.

Der Mittelwert von allen erfaßten Lineamenten beträgt 3,95 km; die Maxima mit 5,02 km kommen im Bereich westlich des Eyjafjördur (G/3) vor. Ursache dürften hier die lang und tief ausgeschürften Gletschertäler sein. Die kürzesten Lineamente sind im Bereich der Nordwest-Halbinsel (B/3) in den tertiären Flutbasalten anzutreffen. Die Gesamtauswertung ergibt in Bezug auf die gemittelte Länge (3,95 km) eine relativ gleichmäßige Längenverteilung der 17.632 Lineamente über ganz Island.

Unter anderem gibt die Auflistung der Tab. 2 Auskunft über die Verteilung der Lineament-Dichte in den einzelnen nach Breiten- und Längengraden aufgeteilten Feldern. Diese sind identisch mit den Feldern der Karten 1-5 (Anlage), so daß Vergleiche gezogen werden können. Das Raster der Auswertung richtet sich nicht nach den geologisch-tektonischen Einheiten Islands, um zu gewährleisten, daß eine direkte Gegenüberstellung mit der Dichte des Gewässernetzes (Tab. 3) möglich ist.



Tab. 2: Auflistung der Lineament-Daten in den nach Breiten- und Längengraden aufgeteilten Feldern

Die Dichte der Lineamente (D) wird in km/km² angegeben. Sie errechnet sich aus der Gesamtlänge der Lineamente (L) pro Landfläche (F) eines Feldes. Der Maximalwert liegt mit 1,29 km/km² in der Hreppar-Serie (Tab.2,F/6) und auf Snaefellnes (Tab.2, C/5), der geringste Wert mit 0,20 km/km² im Bereich der Fjorde Berufjördur, Hamarsfjördur und Alftafjördur im Osten (Tab. 2, K/5). Der Mittelwert der Dichte bezogen auf Gesamtisland beträgt 0,68 km/km².

Die Dichteverteilung der Lineamente kann als verhältnismäßig ausgewogen bezeichnet werden. Ausnahmen sind die mit Wolken und Schnee bedeckten Flächen der Fjordlandschaften im Nordwesten und Norden. Dies gilt auch für die mit Schotterablagerungen aufgefüllten Sanderflächen (Karte 2, H/7) im Süden.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wird die tektonische Situation auf Island durch seine Zugehörigkeit zum Mittelatlantischen Rücken bestimmt. Mit Modellvorstellungen zu den Ursachen und Auswirkungen der unterschiedlichen Spreadingraten haben sich u.a. Sigurdsson (1967, 1970), Walker (1975), Saemundsson (1978, 1979) und Einarsson, Björnsson (1979) befaßt.

An dieser Stelle soll noch einmal kurz auf die Transform-Faults eingegangen werden. Es steht fest, daß sie durch Spannungen gebildet wurden, die auf die divergierenden Drift-raten zurückzuführen sind. Die Richtungen der Transform-Faults auf Island verlaufen E-W bis ESE-WNW.

Es handelt sich um die eindeutig nachgewiesene Tjörnes Transform-Fault, die den aktiven S-N streichenden Bereich der neovulkanischen Zone am Axarfjörður über die Halbinsel Tjörnes zum Kolbeinsey Ridge in ESE-WNW Richtung versetzt (Ward 1971, Saemundsson 1978). Über die Halbinsel Snæfellsnes bis zum Vatnajökull soll sich nach Schäfer (1972) eine weitere Transform-Fault in E-W Richtung erstrecken. Ihre Existenz wird aber immer noch in Zweifel gezogen, obwohl ausgeprägte ESE-WNW Spalten und Verwerfungen sich der Ausrichtung dieser Zone anpassen. Im Süden schließlich wird eine seismisch belegte, aber nicht voll bestätigte, ebenfalls ESE-WNW ziehende Transform-Fault auf Reykjanes angenommen (Nakamura 1970, Klein et al. 1977, Einarsson, Björnsson 1979) (siehe auch Abb. 1,2).

Die Auswertung der Lineament-Rosen (Karte 3) läßt deutlich vier Richtungssysteme erkennen, die im allgemeinen in Einklang mit den Untersuchungsergebnissen von Autoren wie Sigurdsson (1970), Saemundsson (1978,1979), Jefferis, Voight (1979) stehen.

Diese vier Systeme (Karte 3) werden wie folgt interpretiert:

- SW-NE Richtung

Die linearen Strukturen dieser Ausrichtung befinden sich vorwiegend in dem südlichen Teil Islands; sie sind an die beiden Zweige der neo-vulkanischen Zone inklusiv der Hreppar-Serie (F/6) gebunden. Auch unter den Eisbereichen des Vatnajökull (H,I,J/5,6) setzt sich diese Hauptrichtung fort bis zu den tertiären Flutbasalten im Südosten

(J,K/5,6). Während im westlichen Teil von Snaefellsnes (B/5) alle 4 Systeme vertreten sind, kommt im mittleren Bereich der Halbinsel (C/5) die SW-NE Richtung voll zur Geltung. Auch im äußersten Nordwesten (B,C,D/3) ist diese Orientierung vorhanden, nimmt aber in ihrem östlichen Verlauf eine mehr S-N betonte Richtung ein.

- S-N Richtung

Dominant ausgeprägt ist diese Ausrichtung entlang der S-N ziehenden neo-vulkanischen Zone im Norden Islands. In den nördlichen Randbereichen des Vatnajökull (H,I,J/5) ist bereits das Umschwenken der SW-NE Richtung in eine rein S-N betonte Orientierung zu erkennen. Auch die tertiären Basalte östlich der neo-vulkanischen Zone auf der Nordhälfte Islands zeigen überwiegend S-N betonte Strukturen (J,K/4; K/3). Im Myvatn-Gebiet (I/3) und in dem weiter östlich liegenden Streifen auf Melrakkaslétta (J/2,3) treten sowohl S-N als auch SW-NE Richtungen auf.

- E-W Richtung

Im Bereich der vermuteten Snaefellsnes-Vatnajökull Transform-Fault treten auffallende E-W bzw. ESE-WNW Richtungen auf. Sie folgen exakt der durch Snaefellsnes ziehenden ehemaligen Vulkanzone (Sigurdsson 1967, 1970). Sie können bis zum Vatnajökull in langsam sich vermindender Häufigkeit beobachtet werden (B,C,D,E,F,G,H/5). Im südlichen Teil Islands, d.h. in dem Gebiet von Reykjanes-Thingvellir bis zum Vulkan Hekla (D,E,F/6,7), könnte die leicht ausgeprägte ESE-WNW Richtung ein Hinweis auf die Existenz der Reykjanes Transform-Fault sein.

- SE-NW Richtung

Sowohl auf Snaefellsnes (B,C,D/5) wie auch entlang der einst aktiven Langjökull-Skagi-Riftzone (Everts 1975, Saemundsson 1979) kann eine ausgeprägte SE-NW Richtung aus den Lineamenten interpretiert werden. Im Bereich der seismisch nachgewiesenen Tjörnes-Transform Fault sind eindeutige SE-NW Richtungen vorhanden, die von den tertiären Basalten zu beiden Seiten des Eyjafjörður (G/2) nach Südosten hin an Häufigkeit abnehmen. Das Vorhandensein dieser Transform-Fault kann somit am Axarfjörður und auf Melrakkaslétta (I,J/2) sowie im nördlichen Myvatn-Gebiet (I,J/3) durch eine geringe Anzahl von Lineamenten belegt werden.

Die Lineament-Rosen-Auswertung (Karte 3) läßt erkennen, daß die Lineamente identisch sind mit den geotektonischen Strukturen Islands, die durch den Mittelatlantischen Rücken bedingt sind.

3.3 Das isländische Gewässernetz

Für die Beurteilung tektonischer Strukturen aus einem Luft- oder Satellitenbild kann die Ausbildung des Gewässernetzes bei der Kartierung ein weiteres, wichtiges Kriterium sein (Kap. 3.1.2). Nach Kronberg (1984) vermittelt die Analyse der Aufgliederung und Dichte eines Gewässernetzes Informationen über den tektonischen Aufbau des Untergrundes, besonders über die Lage und Richtung von Bruchstrukturen. Das Gewässernetz paßt sich meist in seiner Ausrichtung den Kluft- oder Störungszonen des Untergrundes an, ein Vorgang, der besonders auf Island erkannt und festgestellt werden kann.

Mangelsdorf und Scheurmann (1980) teilen u.a. die Flüsse nach Klimabereichen und jahreszeitlichen Niederschlägen in perennierende oder permanente, periodische oder intermittierende Flüsse und episodische Gerinne ein. Kronberg wiederum weist darauf hin, daß bestimmte Grundtypen von Flußnetzen in deutlicher Abhängigkeit zu bestimmten Gesteinen, Strukturen, Verwitterungs- und Erosionsverhältnissen, der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteine und ihrer Textur, Durchlässigkeit und Lösungsfähigkeit etc. stehen.

Island hat hohe Niederschlagssummen, die im Bereich des Vatnajökull bei 4000 bis 8000 mm/a und im Lavagebiet des Odáðahraun bis hin zum Dettifoss und zur Nordküste zwischen 250 und 500 mm/a liegen. Durchlässig für die Niederschläge sind die weitverbreiteten vulkanischen Lockermassen, aber auch die von einem dichten Netz hydraulisch wirksamer, säulenbildender Schrumpfküfte zerlegten Flutbasalte. Hinzu kommt eine geringe Verdunstungsrate der gewaltigen Grundwasseranreicherung.

Diese Tatsachen ergeben, daß auf Island die höchsten Abflußspenden Europas vorkommen, die sich nach Rist (1956) im Bereich des Vatna- und Myrdalsjökull auf durchschnittlich 140 l/s x km² belaufen, während im Inland Werte von 55 l/s x km² registriert werden.

Islands Flüsse werden von Kjartansson (1945), Rist (1956), Hjartarson (1979) in drei Gruppen eingeteilt:

- den Quellflußtyp Lindá, der meist in rezenten Laven oder quartären Gesteinsserien vorkommt. Rist (1956) gibt z.B. für den Ytri-Rangá in Südisland eine durchschnittliche Wasserführung von 38,5 m³/s an.

- den Flußtyp Dragá, bei dem das Niederschlagswasser sofort, ohne zu versickern, abfließt. Ein Beispiel ist die Grímsá in Ostisland mit einer durchschnittlichen Wasserführung von $30,7 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Maximum von $312 \text{ m}^3/\text{s}$ (Rist 1956).
- den Gletscherflußtyp Jökulsá, dessen Einzugsgebiet in den Gletscherregionen liegt und der an seinen milchigen Schmelzwässern zu erkennen ist, wie z.B. die Jökulsá á Fjöllum ($230 \text{ m}^3/\text{s}$), die Thjórsá ($405 \text{ m}^3/\text{s}$) oder die Hvítá-Ölfusá ($415 \text{ m}^3/\text{s}$) (nach Rist 1956). Während der Sommermonate erreichen die Gletscherflüsse mit ihrer stark erosiven Tätigkeit und dem Transport von Feinmaterial Werte bis zu $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ wie die Jökulsá á Fjöllum.

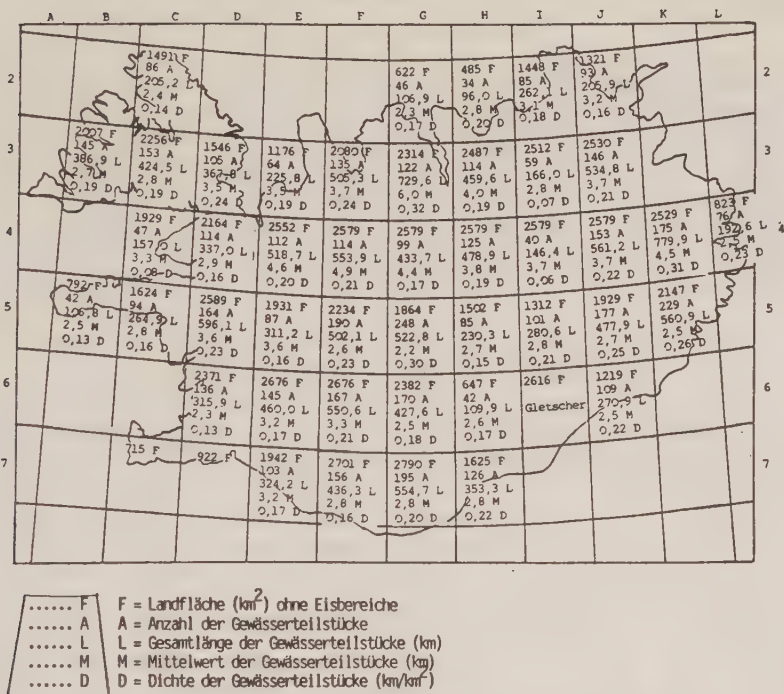
Die Repräsentanten dieser drei Flußtypen sind auf der Karte 4 festgehalten. Auch spalier- oder gitterartige Flußsysteme bzw. Gewässernetze kommen in Island vor. Sie treten an parallel laufenden Störungszonen oder steil bis winkelig dazu orientierten Klüften und Störungen auf. Die großen Flüsse folgen den stärker erodierten Störungszonen, während die Nebenflüsse, Bäche und kleineren Rinnsale des Gewässernetzes sich den von Klüften und Störungen vorgezeichneten Linien anpassen (Karte 4, I/3,4).

An vielen Stellen sind geradlinig verlaufende Gewässerabschnitte und winkelige Richtungsänderungen von Haupt- und Nebenflüssen typische Merkmale für die durch die Tektonik verursachten Kluftsysteme oder Störungszonen.

3.3.1 Auswertung und Darstellung in Kluftrosen-Diagrammen

Nach den in Kap. 3.2.1 beschriebenen Auswerteverfahren wurde aus der topographischen Karte (Uppdráttur Ferðafélags Íslands) im Maßstab 1:750.000 eine Karte des nahezu gesamten isländischen Gewässernetzes erstellt. Bei der Digitalisierung der Daten sind die Überlegungen von Horton (1945) und später u.a. von Drexler (1977) und Wilhelm (1987) mit einbezogen worden. Allerdings wurde im Rahmen dieser Arbeit von einer Benennung der einzelnen Gewässerstrecken nach Ordnungen bzw. Flußzahlen abgesehen. Es ist aber festzustellen, daß es sich um grundsätzlich die gleiche Aufteilung handelt, d.h. daß einmal Flüsse oder Bäche in gerade Bereiche bis zur nächsten Krümmung oder Richtungsänderung aufgeteilt wurden und zum anderen in Bereiche der feinfiederigen Verästelungen bis zur nächsten Bifurkation.

Insgesamt wurden erstmals bei der Interpretation 5208 Gewässerteilstücke mit einer Gesamtlänge von 16612 km ausgewertet (Karte 5). Die gemittelte Länge der Gewässerteilstücke beträgt 3,19 km; der Maximal-Wert mit 5,98 km liegt im Bereich der tertiären Flutbasalte westlich des Eyjafjörður (Karte 5, G/3), das Minimum mit 2,23 km in Zentralisland (Karte 5, G/5). Bezüglich der Häufigkeit (Anzahl) hat sich gezeigt, daß in den vegetationslosen Inlandwüsten der Odáðahraun (Karte 5, I/4) eine sehr niedrige Anzahl von 40 Gewässerteilstücken gegeben ist, während am Oberlauf der Thjórsá (Karte 5, G/5) die meisten Bäche und Rinnsale registriert wurden.



Tab. 3: Auflistung der Gewässernetz-Daten in den nach Breiten- und Längengraden aufgeteilten Feldern

Die Dichte der Gewässerteilstücke (D) wird gleichfalls in km/km^2 angegeben (Kap.3.2.1). Sie errechnet sich aus der Gesamtlänge der Gewässerteilstücke (L) pro Landfläche (F) eines Feldes ohne Eisbereiche. Der Maximalwert liegt mit $0,32 \text{ km}/\text{km}^2$ im Gebiet westlich des Eyjafjördur (Tab. 3, G/3), die geringsten Werte mit $0,06 \text{ km}/\text{km}^2$ und $0,07 \text{ km}/\text{km}^2$ sind in der Inlandwüste Odáðahraun (Tab. 3, I/3,4) zu finden. Der Mittelwert der Dichte bezogen auf Gesamtisland beläuft sich auf $0,21 \text{ km}/\text{km}^2$.

Alle 44 Gewässernetz-Rosen weisen ebenfalls ausgeprägte Vorzugsrichtungen von SW-NE, S-N, E-W und SE-NW auf. Sie zeigen jedoch einen Trend zur Abweichung von den genannten Orientierungen. Grund ist die Tatsache, daß die kleinen Nebenflüsse und Rinnale sich in verschiedenen Richtungswinkeln (spitz- bis rechtwinkelig) mit den Hauptflüssen verbinden.

Die Vorzugsrichtungen folgen den geotektonischen Gegebenheiten und dem Verlauf der neo-vulkanischen Zone. So treten entlang der beiden vulkanischen Streifen in der Südhälfte Islands hauptsächlich SW-NE streichende Richtungen im Gewässernetz auf sowie zusätzlich S-N und E-W streichende Richtungen. In der nördlichen neo-vulkanischen Zone verläuft die Vorzugsrichtung der wenigen Flüsse und Bäche eindeutig S-N (Karte 5 H/3,4). Die weiter östlich liegenden quartären und tertiären Basaltgebiete zeigen darüber hinaus im Gewässernetz bereits eine Aufsplitterung nach SW-NE und geringfügig auch nach SE-NW.

Im zentralen Teil der neo-vulkanischen Zone ist ein Umschwenken der Richtung von SW-NE auf S-N zu erkennen.

Auf Snaefellsnes sind alle 4 Systeme vertreten, während sich auf der Nordwest-Halbinsel die S-N und SW-NE betonten Gewässerrichtungen stärker durchsetzen.

Die Ausrichtung der linearen Strukturen im Bereich der Tjörnes Transform-Fault spiegelt sich gleichfalls in dem Gewässernetz wieder (Karte 5, H/2, I/3,4, J/3). Bei der vermuteten Transform-Fault Snaefellsnes-Vatnajökull ist das Gewässernetz E-W bzw. ESE-WNW orientiert, jedoch nicht sehr ausgeprägt. Ebenso schwach sind die Richtungen im Gewässernetz der vermuteten Reykjanes Transform-Fault. Daß sie aber in dieser Zone vorhanden sind, zeigen die Abschnitte D,E,F/6 und E,F,G/7 der Karte 5 sowie die Abb. 29,30.

3.4 Korrelation der Auswertergebnisse der Lineament- und der hydrogeologischen Karte

Ziel der Untersuchung ist es, mit Hilfe von Fernerkundungsdaten festzustellen, ob die tektonischen und vulkanischen Prozesse auf Island übereinstimmen mit dem Verlauf der Flüsse und Bäche sowie der Positionierung von Quellaustritten. Die Auswertung der in der Lineamentkarte (Karte 3) erfaßten 17632 Lineamente bzw. der 46 Lineament-Rosen und der auf der hydrogeologischen Karte (Karte 5) registrierten 5208 Gewässerteilstücke bzw. der 44 Gewässernetz-Rosen bestätigt, daß ein solcher Zusammenhang tatsächlich besteht.

Im einzelnen ist folgendes festzustellen:

Die als lineare Strukturen interpretierten Lineamente und Gewässersysteme stimmen in ihren Richtungen überein. Dies gilt z.B. für die SW-NE und S-N Orientierung der neo-vulkanischen Zone. In der Lineament-Auswertung (Karte 3) sind diese Richtungen deutlicher markiert als dies bei der hydrogeologischen Karte bzw. deren Auswertung der Fall ist (Karte 5); größere Abweichungen sind nicht gegeben. Auch das Umschwenken der Riftzone von SW-NE nach S-N ist aus beiden Interpretationen (Karten 3,5) zu ersehen, wenn auch Flüsse und Bäche im Inneren Islands weniger häufig auftreten (Tab.3, J/3,4).

Die ausgeprägte SW-NE Orientierung der Flüsse Hvítá, Thjórsá und ihrer Nebenarme (Karte 4,5; E,F,G/5,6,7) und die Lineament-Scharen gleicher Richtung in der Hreppar-Serie bis hinein in deren Randbereiche zeigen gleichfalls Übereinstimmung. Ähnlich sieht es im Norden zu beiden Seiten der neo-vulkanischen Zone (Karten 4,5; H/3,4 und zwischen I-J/3,4) aus. Der Lauf der Flüsse Jökulsá á Fjöllum und Skjálfandafljót passt sich exakt dem tektonischen Muster der Landschaft an.

Im südlichen Teil der Halbinsel Skagi, zwischen Grimstunguheiði und Audkuluheiði, lassen das feingefiederte Flußsystem der Blandá und Vatnsdalsá (Karte 4,5; E,F/4) ebenso wie das dichte Lineamentnetz, beide in SSE-NNW Richtung verlaufend, Schlüsse auf die von Sigurdsson (1970), Everts (1975) und Saemundsson (1979) angenommene einst aktive Reykjanes-Langjökull-Skagi Zone zu.

Auch im Bereich der Halbinsel Tjörnes wurden in den Gewässernetz-Rosen SE-NW Richtungen (Karte 4; H,I/3,4 und I,J/3,4) festgestellt. Ihre schwache Ausprägung kann wohl mit der Tjörnes Transform-Fault in Verbindung gebracht werden. Deutlichere Maxima zeigen hier die Lineament-Rosen (Karte 3).

Auf Snaefellsnes lassen beide Auswertungen eine E-W bzw. ESE-WNW Betonung der Richtung erkennen, was auf die Tätigkeit der einst aktiven Vulkanzone zurückgeführt werden kann. Möglicherweise besteht aber auch eine Verbindung zu der von Schäfer (1972) postulierten Snaefellsnes-Vatnajökull Transform-Fault.

Bezüglich der vermuteten Reykjanes Transform-Fault können die nur geringfügig auftretenden Richtungen (ESE-WNW) sowohl in der Lineament- als auch in der Gewässernetz-Rose (Karten 3,5) keine Aufklärung geben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die hydrogeologische Karte und die Lineamentkarte bzw. deren Auswertungen in Darstellungen von Rosen sich weitgehend in ihren Aussagen gleichen. Fluß- und Bachsysteme sowie Quellaustritte folgen im großen und ganzen den tektonisch vorgegebenen Richtungen.

Die Untersuchung ergibt, daß das Gewässernetz auf Island tektonisch kontrolliert ist, Unterschiede bestehen lediglich in der jeweiligen Dichte (Tab. 2,3).

3.5 Abhängigkeit isländischer Quellen von den Bruchsystemen des Landes

Island ist bekannt durch seinen sehr hohen geothermalen Gradient, der in den tertiären Flutbasalt-Regionen bei 40°C/km liegt und bis zu 160°C/km im Bereich der pleistozänen Gesteinsformationen ansteigt. Im Verlauf der neo-vulkanischen Zone sind noch höhere Werte festgestellt worden (Pálmason 1980). Die aus Bohrungen gewonnenen Erkenntnisse belegen diese Zahlen (Karte 4). Die hohen Temperaturen sind dem verstärkten Wärmefluß entlang des Mittelatlantischen Rückens, vorzugsweise der Riftzone, zuzusprechen. Allein das geothermische Potential Islands wird auf derzeit 80.000 GWh/a geschätzt, wovon nur ein knappes Drittel technisch genutzt wird (Carlé 1980). Statistische Zahlen aus dem Magazin "The Economist" vom 09.01.1988 sprechen von 30.000 MW, die mit hydro-elektrischen oder geothermalen Projekten gewonnen werden könnten, wobei Island selbst nur 800 MW benötigt.

Wie in Kap. 2 dargestellt, wird Island mit seinen Quellen und Quellgebieten in Hoch- und Niedrigtemperatur-Bereiche aufgliedert. Allein der von Fridleifsson (1979) und Gudmundsson (1980) geschätzte natürliche Heiß- und Warmwasserausfluß in den Niedrigtemperatur-Regionen beträgt ca. 1825 l/s.

Die weltweit stark angestiegene Prospektion zur Auffindung von Grundwasserhorizonten, die Steigerung der Wasservorkommen durch Bohrungen, die Suche nach Quell- und Thermalwässern beruhen im wesentlichen auf den hydrogeologischen und tektonischen Erkenntnissen der letzten Jahrzehnte. Überall dort wurden Bohrungen fündig, wo Schwächezonen auftreten oder Brüche, Spalten und Verwerfungen die geologischen Schichten durchtrennen. Sie dienen als Aquifere. In der Sahel-Zone haben Untersuchungen gezeigt, daß die meisten Kluftwasservorkommen an bestimmte Zonen gebunden sind, die zu beiden Seiten der Lineamente liegen. Anhand einer Satellitenbild-Auswertung mit Fernerkundungsmethoden stellte z.B. Kohlhammer (1986) in jüngster Zeit fest, daß im Sahel, in Burkina Faso, rund zwei Drittel aller Brunnen an linearen Strukturen in einem Abstand von weniger als 500 m liegen. Auch in Deutschland sind die austretenden Mineral- und Thermalwässer im allgemeinen an tektonisch bedingte Bruchstrukturen gebunden (Brinkmann 1967, Wunderlich 1968, Carlé 1975, Hölting 1984).

Die hier vorgelegten Auswertungen zeigen, daß auf Island gleichfalls ein Zusammenhang zwischen Quellvorkommen und Wasserläufen und den Spaltensystemen, Verwerfungen, Störungen, Bruchzonen überwiegend tektonischen Ursprungs besteht.

Auch die positiven Ergebnisse bei einer Reihe von Bohrungen in Kontaktbereichen von Störungen (Arnórsson 1977, Georgsson et al. 1984) sprechen für diese Feststellung.

Um auch den Bezug zum Gelände selbst herzustellen, wurden in eingehender Feldarbeit folgende Gebiete näher untersucht:

- Die Myvatn-Námafjall-Region

Hier sind die beiden S-N ziehenden Spalten Storagjá und Grotagjá östlich des Myvatn-Sees gute Beispiele für das Zusammenspiel von Tektonik und Wasseraustritten. In der Grotagjá z.B. durchfließen die Thermalwässer mit einer Geschwindigkeit von 1 cm/min den Spaltengang. Die einige hundert Meter lange und bis zu 2 m breite Spalte ist im Luftbild eindeutig als S-N orientiertes Lineament zu erkennen, während im Satellitenbild nur größere Strukturen wie die Spaltenergüsse des Lúdentsborgir und des Threngslaborgir (Abb.12) zu sehen sind.

Im Geothermalfeld Námafjall wurden, wie im Gelände festgestellt, 9 Bohrungen unmittelbar neben S-N streichenden Staffelbrüchen fündig abgeteuft. Bohrstellen in dem weiter nördlich liegenden Thermalgebiet an der Krafla sind ebenfalls an S-N ziehende Störungszonen gebunden.

Während der vulkan-tektonischen Aktivität von 1975-1984 wurden hier durch Horizontal- und Vertikalbewegungen neue Spaltenzüge gebildet, Wasserpegel und Temperaturgradient veränderten sich. Auch die Dampfaustritte im Bereich der Leirhnjúkur-Spalte, die ebenfalls in S-N Richtung zieht, verdanken ihre Existenz neotektonischen Zerrbewegungen (Abb. 14,15).

- Die Reykholt-Region

Mit einer Gesamtschüttung von ca. 450 l/s ist das Reykholt Thermalsystem, ein Niedrigtemperatur-Gebiet im Südwesten, das größte dieser Art in Island. Dazu gehört u.a. auch die bekannte Quelle Deildartunga, die einen natürlichen Ausfluß von mehr als 180 l/s hat. Sie liegt am Kreuzungspunkt einer N 20° W streichenden Störung und eines Gangs mit N 30° E Richtung. Ähnliche Schnittpunkte wurden bei den Ortschaften Reykholt, Runnar und Baer festgestellt, die auch von Georgsson et al. (1984) bestätigt werden (Abb. 25). Die Aufreihung der Quellen an SW-NE und Überwiegend SE-NW tendierenden Störungen und Gängen zeigt, daß auch hier eine Relation zu dem tektonischen Muster der Gegend gegeben ist. Auch die Lineamentkarte (Karte 2, D/5) sowie die Lineament- und Gewässernetz-Rosen (Karten 3,5) geben diese Richtungen wieder.

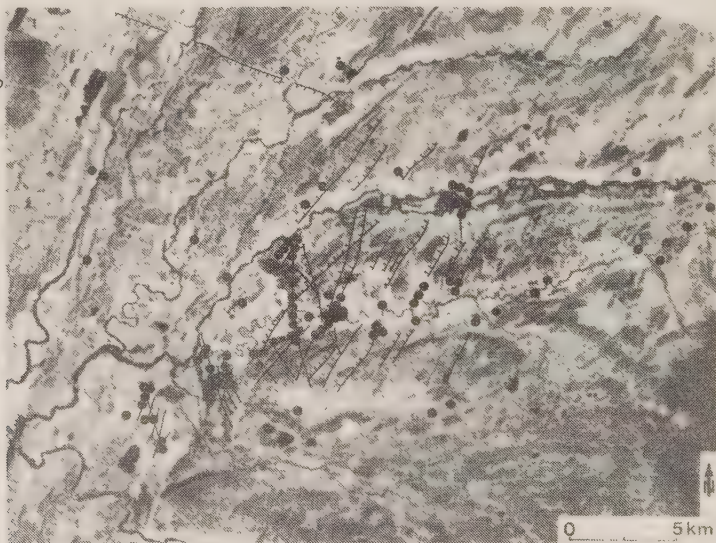


Abb.25: Ausschnitt einer Landsat-MSS Szene (v. 19.08.1973, Kanal 7) mit Wiedergabe der tektonischen Situation und der Lage größerer Quellaustritte im Thermalgebiet Reykholt, Borgarfjörður.

Die Detailauswertung des Satellitenbildes (Abb. 25) zeigt deutlich diese Beziehung von Quellvorkommen zu tektonischem Muster.

- Die Halbinsel Snaefellsnes

Hier kann nur annähernd die Zugehörigkeit von Quellen zu tektonischen Verwerfungen und Brüchen aufgezeigt werden, da die nicht sehr häufig vorkommenden Säuerlinge direkte Quelllinien nicht erkennen lassen. Trotzdem kann anhand der Position der Säuerlinge und des dichten Lineamentnetzes (Karte 2) festgestellt werden, daß sich die Quellen auf der Südhälfte an Brüchen und Verwerfungen konzentrieren.

- Das Hochtemperatur-Gebiet Hengill

Ausführlich werden Tektonik und Geologie dieser Region, die speziell untersucht wurde, in Kap. 4.1 behandelt. Hier sei nur bemerkt, daß auch in der Geländearbeit, vor allem in dem Bereich zwischen der Varmá und dem Bergrücken Reykjafell, eine Übereinstimmung in den Streichrichtungen (N 20° - 30° E) der Bruchstrukturen und der parallel versetzten Quellvorkommen gegeben ist (Abb. 28).

Auch die Geländearbeit hat also die Aussagen von Lineament- und Gewässernetz-Rosen in den untersuchten Gebieten bestätigt.

4. EINSATZ VON VERFAHREN DER FERNERKUNDUNG UND PHOTOGRAMMETRIE FÜR DIE INTERPRETATION VON BRÜCHEN, GEWASSERNETZ UND QUELLEN IM UNTERSUCHUNGSGBIET HENGILL, SÜDWEST ISLAND

In diesem Kapitel werden die Anwendungsbereiche der Fernerkundung und Photogrammetrie behandelt, mit deren Hilfe zusätzlich Daten und Informationen über die geologisch-tektonischen Strukturen und im besonderen über die Quellvorkommen im Untersuchungsgebiet Hengill gewonnen werden können.

Der Arbeit wurden multitemporale TM-Szenen für die struktur-geologische Aussage bei einer Kartierung im großen Maßstab zugrunde gelegt sowie ein Luftbildpaar aus einer Tiefbefliegung für die photogrammetrische Umsetzung in ein Orthophoto.

4.1 Tektonik und Geologie im Untersuchungsgebiet Hengill

Das untersuchte Gebiet liegt im Bereich der tektonischen Zone Langjökull-Thingvellir-Reykjanes, d.h. des zentralisländischen Grabensystems. Das Hengill-Gebiet selbst ist dem Abschnitt Langjökull-Selvogsheidi zuzuordnen.

Begrenzt wird es im Norden von dem See Thingvallavatn und im Süden von den Lavafeldern von Hellisheidi und Svínahraun; im Westen verläuft die Grenze an den Lavafeldern der interglazialen Schildvulkane von Mosfellsheidi und Haedir, während sie im Osten nördlich der Ortschaft Hveragerdi von der Talzone Reykjadalur-Dalskard und dem Laxardalur gebildet wird.

Das gesamte Hengill-Gebiet wird von SSW-NNE streichenden Längsstörungen (Abb. 26) durchzogen. Von Hestvík am See Thingvallavatn erstreckt sich eine tektonische Absenkung südwärts über den Berg Dyrafjöll zum Tal Skeggjadalur, durch den Hengill-Gebirgsstock bis zur Hochebene Innstidalur und weiter über den Stóra-Skardsmyrarfjall zu dem Stóra-Reykjafell bis außerhalb des Untersuchungsgebietes.

Der Hauptgrabenbruch bzw. Senkungstreifen wird im Hengill-Gebiet beiderseits von Staffelbrüchen flankiert. Im Westen sind relativ wenige Verwerfungen vorhanden, jedoch mit großen Verwerfungshöhen, im Osten dagegen viele mit geringen Höhen. Für den Hauptgraben gibt Saemundsson (1967) verschiedene Absenkungshöhen an. Sie betragen bei Hestvík am Thingvallavatn, also im Gebiet der ältesten Gesteinsserien, ca. 240 m, am südlich gelegenen Dyrafjöll 100 m und selbst im Hengill-Gebirgsstock noch 80 m. Bei dem noch jungen Stóra-Skardsmyrarfjall wurden 60-70 m Absenkungshöhe festgestellt.

Während im allgemeinen die tektonischen Linien nach Einarsson (1960) N 10° E und N 40° E ziehen, gibt Saemundsson die Streichrichtung des Grabens im Hengill mit N 30-35° E an. Eigene Messungen im Gelände bestätigen die Ergebnisse von Saemundsson.

Im Bereich des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli wurden an mehreren ausgeprägten Verwerfungen und Störungen Streichrichtungen mit N 28-32° E gemessen. Diese Daten passen ebenso wie die Resultate der Lineamentauswertung von Luftbildern (Abb. 29) und Satellitenbildern (Abb. 30) in das tektonische Gesamtkonzept der Gegend. Die Breite des Grabens beträgt nördlich des Sees Thingvallavatn ca. 19 km und verringert sich südwärts im Hengill-Gebirge auf 11 km.

Die Bruchtektonik des Hengill-Gebietes dürfte sich während der Bildung der jüngsten Laven und des Haedir-Schildvulkans, also im vorletzten Interglazial und somit in der Rið-Würm-Zeit, vollzogen haben. Es wird angenommen, daß die Absenkungen in dieser Grabenzone ein hohes Alter haben, da die tertiären und quartären Plateaubasalte, die sie im Osten und Westen flankieren, zur Zone hin einfallen.

Tektonisch stark beansprucht ist der Abschnitt der Grabenzone, der vom Thingvallavatn bis zum Tal Hveradalir reicht. In ihm liegen die Bergzüge des Dyrafljöll, Hengill, Sleggja, Skardsmýrarfjall sowie die Stóra- und Litla-Reykjafell (Abb. 26,28), auf die hier kurz eingegangen werden soll.

Die Berggruppen des Dyrafljöll erstrecken sich vom Südwestende des Thingvallavatn und den Laven des Schildvulkans Haedir bis zum Hengill-Massiv. Die Gesteine können dort nach Saemundsson (1967) in vier Einheiten gegliedert werden, in die Nesjakógur und Háhyggur-Serien, den Lavastrom von Brekka und einen Rückenkomplex östlich davon. Überwiegend handelt es sich bei den ersten beiden Serien um unregelmäßig geschichtete Hyaloklastite und um feinkörnige, brekziöse, geschichtete Hyaloklastite. Dem Lavastrom von Brekka wird feinkörniger Tholeiit zugeordnet, während es sich bei den langgestreckten, gradartigen Rücken um porphyrischen Basalt handelt.

Diese Rücken haben ein junges Alter und passen sich mit ihrem S-N bzw. SSW-NNE Streichen exakt in das allgemeine bruchtektonische Muster ein. Das Streichen der tektonischen Elemente im Bereich des Dyrafljöll gibt Saemundsson generell mit N 35° E und S-N an. Auch hier bestätigen die eigenen Messungen und Auswertungen der Lineamentkartierung aus Luft- und Satellitenbildern (Abb. 29,30) diese Richtung.

Nach Südwesten folgt die höchste Erhebung dieses Gebietes, der Tafelberg Hengill (803 m). Überwiegend besteht sein Massiv aus Hyaloklastiten und Pillow-Laven, die sich um den gesamten Gebirgsstock ziehen und von Basaltlava überdeckt sind. Eine Kraterformation ist nicht vorhanden. Petrographisch handelt es sich sowohl bei den Basalten wie bei den Hyaloklastiten um Olivinbasalte. Der Tafelberg wird von einem 80 m tiefen Graben durchquert, dessen Bruchränder durch mehrere Staffelbrüche gekennzeichnet sind. Zeichen einer intensiven Hydrothermaltätigkeit sind Solfataren und Fumarolen, die in den Fußregionen des Gebirgsmassivs verbreitet sind. Sie treten fast immer gruppenweise an den Verwerfungen auf. Sehr oft konnte eine starke Zersetzung des Bodens auch dort festgestellt werden, wo heute eine Hydrothermalaktivität an den Verwerfungen nicht mehr gegeben ist.

Der Bergrücken Sleggja (715 m) mit einer Länge von 4-5 km schließt sich südwestlich an das Hengill-Massiv an. Hier wurden von Saemundsson mehrere geologische Einheiten erfaßt: im südlichen Teil stehen überwiegend Brekzien und Hyaloklastite an, die petrographisch auf rhyolithischen Andesit schließen lassen. Der Andesit-Rücken der Sleggja dürfte bei einem subglazialen Ausbruch entstanden sein. An mehreren Stellen wird dieses Gestein von einer Sedimentserie aus feingeschichtetem Sandstein überlagert. An vier Stellen wurden Vorkommen von Rhyolith gefunden, die auch von Thoroddsen (1889), Barth (1950) beschrieben werden. Aller Wahrscheinlichkeit nach stammen diese Rhyolithstellen aus der gleichen Intrusion.

Die mitgeführten vulkanischen Gase und der Wasserdampf haben offensichtlich zu der Brekzienbildung des Gesteins geführt.

Während der Geländebegehung konnten auch in den oberen Lagen des Rhyoliths fast reine Obsidiane gefunden werden. Die gesamte Oberfläche der rhyolithischen Andesit-Brekzien, der Sedimente und der Intrusionen wird von einer ca. 100 m mächtigen Folge von basaltischen Vulkaniten überzogen. Nach Saemundsson fällt die Bildung der Lagen, Tuffe und Hyaloklastite der Sleggja mit der letzten Phase der Hengill-Eruptionen zusammen. Die hydrothermale Zersetzung hat tonige und wasserstauende Schichten gebildet. Häufig ist eine starke Zersetzung des Bodens an den Verwerfungen zu beobachten und auch in den Bereichen, die heute keine Hydrothermalaktivität mehr zeigen.

Im Südwesten liegen die Tafelberge Litla- und Stóra-Skardsmyrarfiell, die beide durch das Tal Hengladalir vom Hengill-Massiv und dem Vulkan Bitra getrennt werden. Der knapp 2 km lange und bis zu 900 m breite Litla-Skardsmyrarfiell baut sich aus groben porphyrischen Brekzien aus Olivinbasalt und Hyaloklastit auf. Eine Verwerfung mit einer mehrere Meter

hohen Sprunghöhe wurde festgestellt, die den Berg in seiner ganzen Länge durchzieht. Ihre Fortsetzung nach NE ist das Ausbruchszentrum des Vulkans Bitra. Hydrothermale Zersetzungen des Bodens treten am NW-Ende des Berges Litla-Skardsmyrarfjall auf.

Etwas weiter westlich liegt der zweite Tafelberg, Stóra-Skardsmyrarfjall, der vorwiegend aus Pillow-Laven und Pillow-Brekzien aufgebaut ist. Mehrere Verwerfungen durchziehen in SSW-NNE Richtung den Ostteil des Berges. Sie stehen in unmittelbarer Verbindung zu der großen Grabenstruktur (Abb. 26), die durch das Hengill-Gebiet zieht. An den unteren Berghängen wurden Spuren früherer Thermalität gefunden.

Postglazialer Vulkanismus in diesem Teil des Hengill-Gebietes führte zu der Bildung einer Decke aus Olivinbasalt auf dem Hochplateau des Stóra-Skardsmyrarfjall. Die Förderspalte durchzieht den Berg SW-NE und erstreckt sich weit über das Tal Innstidalur hinaus bis zum Hengill-Massiv; ihr Alter gibt Einarsson (1960) mit 1500 bis 2000 Jahren an. Er vermutet, daß eine tektonische Fortsetzung nach NE bis zu der Nesjähraun-Eruptionsspalte existiert, die gleichen Alters ist.

Ein Ausbruch im Jahre 1000 n. Chr. bildete die heutigen Lavafelder von Hellisheidi im Süden.

Es kann festgestellt werden, daß die Gesteine des Hengill-Gebietes vorwiegend basaltischer Zusammensetzung sind. Es kommen jedoch auch intermediäre Gesteine und Rhyolithe vor. Saemundsson (1967) schätzt im Untersuchungsgebiet den Flächenanteil von Olivinbasalt auf rund 43 %, von porphyrischem Basalt auf 39 %, von Tholeyit auf 15 %, von intermediären Gesteinen auf 2 % und von Rhyolithen auf weniger als 1 %.



Abb. 26: Ausschnitt der Landsat-TM Szene (220/15 vom 22.5.85, Kanal 5) und geologische Interpretation des Untersuchungsgebiets der Hochtemperatur-Region Hengill mit Lage größerer Quellen sowie Ausschnitt der struktur-geologischen Interpretation der Abb. 27 a, b, c, d

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 0 = Lavaström Mosfellsheidi | 9 = Hengill-Massiv | 17 = Lava von Bitra |
| 1 = Schildvulkan Haedir | 10 = Innstidalur | 18 = Dalaskardshnúkur |
| 2 = See Thingvallavatn | 11 = Hengladalur | Ölkelduhnúkur |
| 3 = Hestvik | 12 = Threngsli | 19 = Reykjadalur |
| 4 = Lavaström Nesjáraun | (Thermalsäuerling) | 20 = Litla-Reykjafell |
| 5 = Bergrücken Háhryggur | 13 = Sleggja | 21 = Reykjafell |
| 6 = Dyrafjöll | 14 = Stóra Skardsmýrarfjall | 22 = Lavaströme Hellisheidi |
| 7 = Skeggjadalur | 15 = Litla Skardsmýrarfjall | 23 = Ortschaft Hvergerði |
| 8 = Skeggi | 16 = Middalur | |



- | | |
|--|---------------------------------------|
| | Hyaloklastite des Berges Stóri-Metill |
| | Störungen ohne Versatz |
| | Lineamente |
| | Straße nach Reykjavik |

- | | |
|--|--|
| | Lavaströme von Mosfellsheidi |
| | Lavaström vom Schildvulkan Haedir |
| | See Thingvallavatn |
| | tholeiitischer Lavaström von Brekka |
| | Bergrücken aus porphyrischen Basalt der Dyrafjöll |
| | olivinbasaltischer Lavaström von Nesjaveilir |
| | Hyaloklastite des Sandfell |
| | Bergrücken der Selhöll - Reihe |
| | Hyaloklastite des Maelifell |
| | Hyaloklastite des Sandklettar |
| | Hyaloklastite und Pillow-Laven des Hengill - Massivs |
| | Pillow-Laven und Hyaloklastite aus Olivinbasalt von Husmuli |
| | rhyolithischer Andesit der Sleggja |
| | Bergstürze bei Engidalur und Innstidalur |
| | Hochebene Innstidalur (Thermalsäuerling Hengladalur-Threngsli) |
| | Hyaloklastite des Skardsmýrarfjall |
| | Hyaloklastite des Litla-Skardsmýrarfjall |
| | Lava und Hyaloklastit von Bitra |
| | Lava des Dalaskardshnúkur und Ölkelduhnúkur |
| | porphyrischer Basaltlavastrom des Tjarnahnúkur |
| | Hyaloklastit des Kyllisfell |
| | Hyaloklastite und Basaltbänke der Dalir-Serie |
| | Lava des Rückens Hamarin |
| | Hyaloklastit des Urdaräs |
| | Hyaloklastite von Skálafellsdyngja |
| | Lavaströme von Hellisheidi |
| | Hyaloklastite des Stóra- und Litla Reykjafell |
| | Schotterflächen |

4.2 Einsatz multitemporaler TM-Daten

Über die Funktion und die Einsatzmöglichkeiten des Thematic Mapper (TM) liegen Studien der NASA (1983) und im Manual of Remote Sensing (1983), sowie von Autoren wie Lo (1986) und Short, Blair (1986) und Drury (1987) vor.

Einer der großen Vorzüge des TM der neuen Generation von Landsat-Satelliten (4 und 5) ist es, daß mit seinem verbesserten Auflösungsvermögen, d.h. seiner Bodenpixelgröße von 30×30 m, auch Auswertungen in großem Maßstab von max. 1:25.000 vorgenommen werden können. Bislang war dies nur mit Luftaufnahmen möglich.

Um eine möglichst genaue struktur-geologische Aussage zu erhalten, wurden für die Untersuchung des Hengill-Gebiets Ausschnitte von 2 TM-Szenen (220/15 vom 22.05.1985 und 219/15 vom 07.09.1986) verwendet (Abb. 26,28).

Anhand der für die Spektralkanäle berechneten Histogramme, die den Informationsgehalt ungestreckter Originaldaten enthalten, wurde folgende Selektion der Kanäle vorgenommen: In den Kanälen 1,2 und 7 in den Wellenlängenbereichen von 0,45 - 0,60 μm und 2,08 - 2,35 μm zeigten beide Szenen eine nur sehr geringe Dynamik und konnten daher für diese Aufgabenstellung nicht in Betracht kommen. Der an sich für thermische Anomalien geeignete Kanal 6 (10,40-12,50 μm = thermales Infrarot, TIR) konnte wegen der ungünstigen Aufnahmezeit am Mittag nicht benutzt werden. Durch die intensive Sonneneinstrahlung wird die Erdoberfläche derart aufgeheizt, daß eine Interpretation kaum mehr möglich ist. Es lag also nicht an der geringen Bodenpixelauflösung, die bekanntlich bei diesem Kanal 6 120×120 m beträgt, d.h. nicht 30×30 m. Einen hohen Informationsgehalt und eine starke Dynamik zeigten aber Kanal 3 (0,63-0,69 μm = Rot-Bereich), Kanal 4 (0,76-0,90 μm = nahes Infrarot, NIR) und Kanal 5 (1,55-1,75 μm = kurzwelliges Infrarot, SWIR), so daß sie für die Untersuchung herangezogen werden konnten.

Kaufmann (1986) befaßt sich ausführlich mit den Möglichkeiten von Bildverarbeitungsprozessen am Beispiel von Marokko. In seiner Arbeit werden z.T. entsprechende Verarbeitungen und Methoden genau beschrieben.

In der vorliegenden Untersuchung sollen vor allem die Interpretationsgrenzen angesprochen werden.

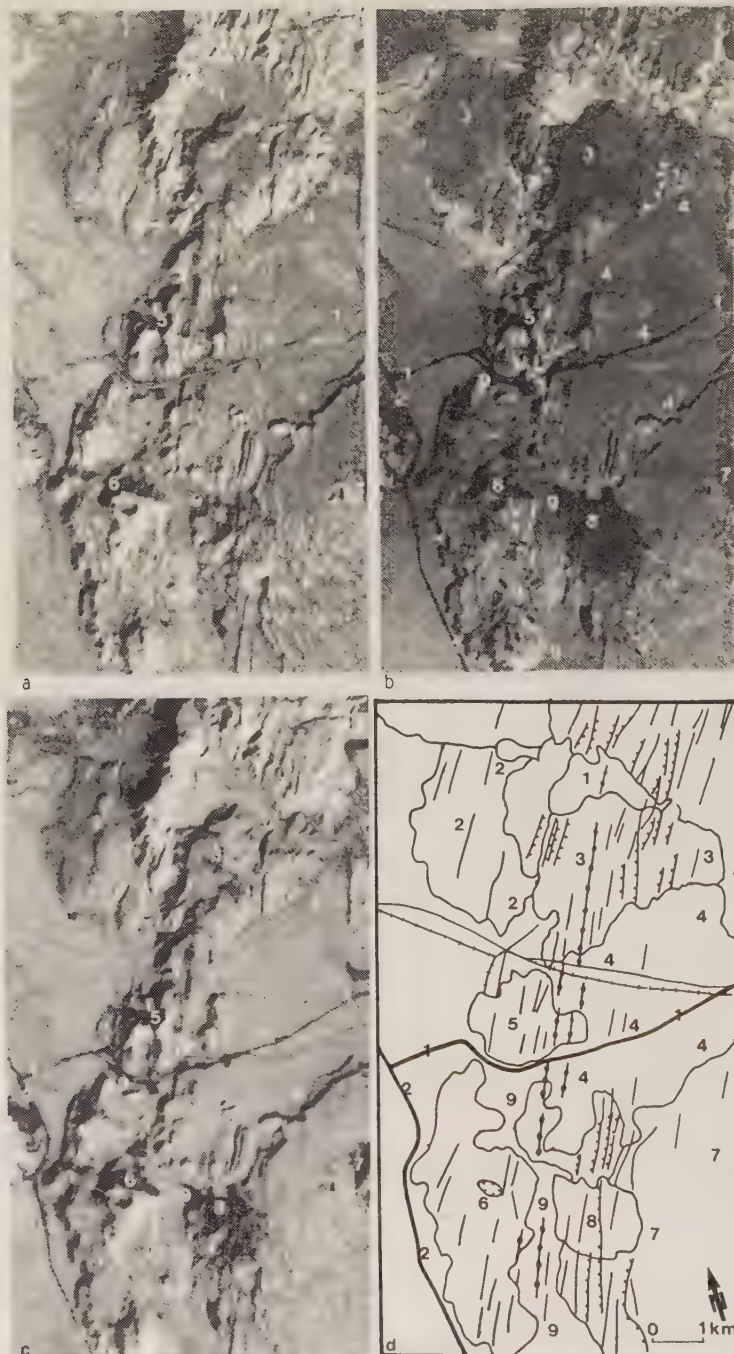


Abb. 27: Ausschnitt einer Landsat-TM Abspiegelung vom 7.9.1986 (219/15) aus der Hengill-Region mit struktur-geologischer Interpretation

a = Kanal 3 (0,63-0,69 μm) b = Kanal 4 (0,76-0,90 μm) c = Kanal 5 (1,55-1,75 μm)

Auswerteprozesse wie Filterverfahren und Ratiotransformationen haben sich als nicht geeignet erwiesen, die für Island so wichtigen geothermalen Erscheinungen aufzuzeigen, da u.a. die Vegetationsdecke bis unmittelbar an die Quellaustritte heranreicht und somit eine Differenzierung bei der Interpretation nicht möglich ist. Geeignet wäre nur der Einsatz des Spektralkanals 6 (thermales Infrarot) bei einer Datenaufzeichnung kurz vor Sonnenaufgang, was im Fall Island infolge seiner geographischen Lage während der Sommermonate äußerst schwierig ist.

Ähnliches gilt für die Aussage über die Quellgebiete. Bei Quellgrößen von 1 m^2 bis max. 10 m^2 reichen die Bodenpixelgrößen der Kanäle 3, 4 und 5 mit $30 \times 30 \text{ m}$ für eine Identifikation nicht aus. Lediglich die hydrothermal zersetzten und nicht bewachsenen Geländeoberflächen in den Hochtemperatur-Regionen können als hellgraue Flecken erkannt werden, wie z.B. auf Abb.26,28 im Bereich nördlich der Ortschaft Hveragerdi. Neue Erkenntnisse werden aber nicht vermittelt.

Nur die kontrastverstärkten Verarbeitungen und die Bodenpixelgrößen von $10 \times 10 \text{ m}$ nach der Methode Cubic Convolution (Kubische Faltung) der Kanäle 3,4,5 ergaben eine optimale Detailerkennung der geologischen und tektonischen Strukturen im Untersuchungsgebiet (Abb. 27 a,b,c).

In einer weiteren Interpretation (Abb. 28) ist in der Satellitenbild-Abspielung die Tektonik der Hengill-Region mit der Lage der größeren Quellen und den Grenzlinien der pH-Werte der Quellwässer kompiliert worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in Kap. 4.4 behandelt.

Es ist festzustellen, daß die zur Verfügung stehenden TM-Daten für die Bestimmung von Wärmeanomalien zusätzliche Informationen nicht gaben.

Detaillierte Aussagen über Wärmeanomalien oder deren Veränderungen - und damit über Thermalquellen - können nur mit gezielten Scannerbefliegungen aus niedriger Aufnahmehöhe erreicht werden. Diese müßten durch entsprechende Geländeaufzeichnungen und -messungen ergänzt werden.



Abb. 28: Ausschnitt der Landsat-TM Szene (219/15 vom 7.9.1966, Kanal 5) mit der Tektonik, Lage der Quellen und Grenzlinien der pH Werte (abgeändert n. Barth (1950) und Sæmundsson (1967)).

- Ausschnitt der Abb. 29,30 und Karte 6
- | | | | |
|--------------------|------------------|----------------------|---------------------|
| 1 = Thingvallavatn | 5 = Hengill | 9 = Skardsmýrarfjall | 13 = Hellisheidi |
| 2 = Deifjall | 6 = Þeistadillir | 10 = Hlíðfjall | 14 = Þeistadillir |
| 3 = Nesjahraun | 7 = Hengladalur | 11 = Ölkelduhnúkur | 15 = Skálafell |
| 4 = Skeggi | 8 = Sleggja | 12 = Reykjadalur | 16 = Stóra-Sandfell |
- Störung
 Verwerfung
 9 Grenzlinie des pH Wertes
 • Lage größerer Quellen

4.3 Erstellung eines Orthophotos aus dem Bereich des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli

Es wurde versucht, mit stereoskopischen Luftaufnahmen von Tiefbefliegungen (F-mynd vom 16.08.78, Nr. 3381/82) festzustellen, ob bei einer Gegenüberstellung von Luftbild- und Geländedaten im Quellgebiet des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli möglicherweise weitere Quellaustritte gefunden werden können.

Auch bei dieser Fragestellung erwies sich das Luftbild als unumgänglich und als eine wertvolle Hilfe. Die vor Ort gewonnenen Geländekenntnisse wurden unter stereoskopischer Betrachtung mit den Luftbild-Informationen verglichen. Einen wesentlichen Hinweis auf das Vorkommen weiterer Quellen gaben die Kieselsinterablagerungen im Quellabflußbereich, mit einer Ausdehnung von einem bis zu mehreren Quadratmetern. Eine Beziehung zwischen der Größe dieser Sinterplatten und der Schüttung der Quellen besteht nicht; die Größe der Platten ist vielmehr auf eine ungleichmäßige Quellintensität zurückzuführen.

Das Luftbild erleichterte die Felderkundung wesentlich, wenn sich auch die Radialverzerrung und der unterschiedliche Bildmaßstab nachteilig auswirkten. Gerade bei dem morphologisch stark bewegten Gelände im Bereich des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli wird dieser Effekt in den Randpartien des Luftbildes verstärkt. Daher war es notwendig, mit photogrammetrischen Methoden ein Orthophoto zu erstellen, mit dem die Lage von Quellen im Bild exakt bestimmt und ihr Bezug zur regionalen Tektonik aufgezeigt werden konnte.

Für die Erstellung dieses Orthophotos waren umfangreiche Vorarbeiten nötig, wie z.B. eine photogrammetrische Paapunktverdichtung von einer Hoch- zu einer Tiefbefliegung, Koordinatentransformationen, die Bestimmung relativer und absoluter Orientierungsdaten sowie die Digitalisierung von 1308 Rasterpunkten mit einem Profilabstand von 25 m. Das Orthophoto selbst wurde nach den eingegebenen Parametern von einem Orthoprojektor im Maßstab 1:5000 ausgegeben (Karte 6).

Auf die einzelnen photogrammetrischen Prozesse beim Auswertungsgang kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Es sei aber auf Veröffentlichungen, wie z.B. von Gustafson (1973), Bohonos (1980), Faust (1980,1984), Hobbie (1980), Konecny (1984), Kraus (1984) verwiesen.

Bei der stereoskopischen Betrachtung der beiden Luftbilder in einem Präzisionsauswertegerät (Vergrößerungsfaktor des Bildausschnittes bis 30 fach) war es dann möglich, in Verbindung mit den im Gelände gewonnenen Erkenntnissen weitere Quellaustritte zu erkennen und festzuhalten. Erst im Orthophoto konnte also die exakte maßstäbliche Lage und Größe der Quellaustritte ermittelt werden.

Im Einzugsgebiet der Probenentnahmestelle Hengladalir-Threngsli (Abb. 34,35,36, Karte 6) konnten bei der stereoskopischen Auswertung und im Orthophoto zusätzlich Quellen in 3 Arealen ausfindig gemacht werden. Entlang von Bruchstrukturen wurden im ersten Areal nordöstlich der Probenentnahmestelle hangaufwärts in einer Entfernung von ca. 100-300 m 13 Quellen identifiziert. Sie sind im Orthophoto deutlich an den hellen Kieselinterablagerungen zu erkennen. Bei der Geländeüberprüfung war festzustellen, daß es sich bei den Wasseraustritten jeweils um den gleichen Quelltyp handelte, jedoch mit wesentlich geringeren Schüttungswerten, so daß Proben nicht entnommen wurden.

Das zweite Areal liegt 500 m südöstlich talabwärts an der Ostseite des Baches Hengladalsá. An den bis zu 50 m steil ansteigenden, hydrothermal zersetzten Hängen konnten im Orthophoto durch die hohe Albedo der hellen, vegetationslosen, aufgeweichten Bodenoberfläche und der Ausblühungen keine Quellen erkannt werden, obwohl Barth (1950) hier weitere Thermalsäuerlinge erwähnt.

Das dritte Areal liegt ebenfalls talabwärts, ca. 750 m von der Probenentnahmestelle entfernt auf leicht ansteigenden, sauren Wiesen östlich des Baches. Es teilt sich in zwei benachbarte Bereiche auf, wobei im nördlicheren wegen der rezenten Kieselinterablagerungen eindeutig 3 Austritte registriert werden konnten. Auch sie sind an das lokale Bruchsystem gebunden. Dagegen konnten im südlicheren Bereich keine Quellen ausgemacht werden, da er fast vollständig von Kieselinterplatten mit einer Fläche von ca. 100 x 50 m bedeckt ist. Aus dem Orthophoto läßt sich nicht feststellen, ob hier versiegte oder rezente Quellen vorhanden sind. Vermutlich weist die Anzahl kleiner, sehr heller Flecken auf rezente Quellabflüsse hin. Dies wurde auch vor Ort bei der Probenentnahmestelle Hengladalir-Threngsli festgestellt und ist dort im Orthophoto ohne weiteres zu erkennen.

Deutlich kommt also in dem Orthophoto bei allen Quellen ihre enge Verbindung zu den Bruchstrukturen der Hengill-Region zum Ausdruck. Die Geländeaufzeichnungen über das Richtungsverhalten von Störungen und Verwerfungen stimmen mit den aus dem Orthophoto gemessenen Daten voll überein.

Die Möglichkeit, im Orthophoto exakt die Lage der wichtigen hydrogeologischen und tektonischen Gegebenheiten zu bestimmen, läßt den Wert von Luftbild und letztlich Orthophoto für Prospektionen dieser Art erkennen.

4.4 Vergleich von Luftbild- und Satellitenbild-Lineamenten, Gewässernetz und Geländedaten

Die Interpretation der Satellitenbild-Lineamente (Kap. 3.2 bis Kap. 3.4) hat ergeben, daß ein Zusammenhang zwischen der Orientierung der Lineamente und der Ausrichtung des Gewässernetzes besteht. Ferner hat die kleinmaßstäbliche Satellitenbild-Auswertung (Auswertemaßstab 1:500.000) die Beziehung von Gewässernetz zur Bruchtektonik Islands bestätigt (Kap. 3.5).

Zur Ergänzung der aus den Satellitenbildern (Flughöhe ca. 920 km bzw. ca. 745 km) erhaltenen Informationen wurde am Beispiel des Hengill-Gebietes eine großmaßstäbliche Auswertung anhand von Luftaufnahmen (Flughöhe 6 km) und Landsat-TM Satellitenbildern vorgenommen.

Ein Vergleich mit den Geländedaten sollte dann zeigen, inwieweit eine Verbindung tatsächlich besteht.

Der gesamte Untersuchungsbereich Hengill wurde mit Luftaufnahmen aus drei Ost-West gerichteten Flugstreifen flächenmäßig abgedeckt. Folgende Aufnahmen wurden dabei ausgewertet:

- Flugstreifen 1: Bildnummer 8220-8224, v. 11.9.75, Thingvellir
- Flugstreifen 2: Bildnummer 8260-8276, v. 12.9.75, Hengill
- Flugstreifen 3: Bildnummer 8354-8358, v. 12.9.75, Hveragerdi.

Diese Luftbilder wurden mit einem Spiegelstereoskop unter dreidimensionaler Betrachtung ausgewertet. In einem morphologisch so stark bewegten Gelände wie im Hengill-Gebiet war es nicht möglich, die einzelnen ausgewerteten Modelle über ihre Hauptpunkte zu einem einheitlichen Plan zusammenzufügen. Es hat sich vielmehr herausgestellt, daß sich der Radialversatz bei diesen Weitwinkelaufnahmen ($c = 152,10$ mm) stark auswirkte.

Um im Sinne der Orthogonalprojektion einen großmaßstäblichen Plan zu erstellen, mußten die einzelnen Auswertungen mit Hilfe eines Zoom-Transferscope "entzerrt" werden. Abb. 29 zeigt die nahezu maßstabgerechte Übertragung aller Luftbild-Lineamente in eine Gewässernetz-Karte, die der topographischen Karte (1:100.000) entnommen wurde. Demgegenüber steht eine Satellitenbild-Lineament-Auswertung des gleichen Untersuchungsbereichs aus Landsat-TM Daten (220/15 vom 22.05.1985 und 219/15 vom 07.09.1986). Sie wird in der Abb. 30 wiedergegeben.

Die Digitalisierung des Gewässernetzes und der Lineamente aus den Luft- und Satellitenbildern erfolgte nach den in Kap. 3.2.1 beschriebenen Gesichtspunkten. Mit 7 Luftbildmodellen konnte der gesamte Auswertebereich des Hengill-Gebietes abgedeckt werden. Insgesamt wurden 2714 Lineamente mit einer Gesamtlänge von 647 km erfaßt. Die durchschnittliche Länge dieser Luftbild-Lineamente beträgt 238 m.

Ebenso wurde das relativ fein aufgegliederte Gewässernetz erfaßt, das einmal - wie die Thverá und Kaldá zeigen - nach Nordosten zum Thingvallavatn und zum anderen mit der Saudá, Graendalsá und Reykjadalssá nach Südwesten abfließt. 1348 Gewässernetzbereiche mit einer durchschnittlichen Länge von 170 m und einer Gesamtlänge von 229 km konnten aus der topographischen Karte ermittelt werden.

Die aus den Luftbildern interpretierten Lineamente zeigen deutlich eine SSW-NNE Orientierung mit Maxima bei 10° - 20° und 20° - 30° sowie eine ESE-WNW Richtung mit Maxima zwischen 100° und 110° . Eine ausgeprägte S-N Richtung mit kleineren Werten zwischen 0° - 10° paßt sich ferner dem allgemeinen S-N bis SSW-NNE Richtungstrend der Region an.

Wie in Kap. 4.2 erwähnt, ermöglichen die Landsat-TM Daten Auswertungen in einem Maßstab von 1:50.000, der dem der Luftbild-Interpretation gleichkommt (Abb. 30). Bei einer Gesamtzahl von 1039 Lineamenten mit einer Gesamtlänge von 489 km und einer gemittelten Einzellänge von 471 m ergeben die Auswertungen zwei bevorzugte Richtungen von SSW-NNE und ESE-WNW. Ihre Richtungsmaxima liegen, wie aus der Abb. 30 ersichtlich, bei 20° - 30° und 110° - 120° . In der Rosen-Darstellung sind die Anzahl und die Gesamtlänge der Lineamente gleich stark vertreten. Im Gegensatz zur Luftbildauswertung (Abb. 29) hebt sich bei der Satellitenbildauswertung (Abb. 30) die ESE-WNW Richtung markant hervor.

Im Raum von Innstidalur, im Hengladalir und bei dem Berg Skardsmyrarfjall südwestlich des Hengill-Massivs, ergaben die Geländemessungen an Verwerfungen und Störungen einen richtungsbetonten SSW-NNE Trend (Kap. 4.1). Die Streichrichtungen liegen zwischen $N 28^{\circ}$ - 32° E; sie decken sich also mit denen der Luftbild- und Satellitenbild-Lineamente.

Unmittelbar nordöstlich des durch die Ortschaft Hveragerdi fließenden Baches Varmá wurden bei Reykjakot, Gufudalur und Reykir an mehreren SSW-NNE ziehenden Taleinschnitten Austritte von Quellen festgestellt. Bei Gufudalur und Reykir weisen die im Gelände gemessenen Streichrichtungen Werte um N 20° E auf, während etwas weiter nördlich zwischen der Saudá und der Graendalsá bei Reykjakot überwiegend Richtungen zwischen N 25° E und N 35° E registriert wurden. Die Positionierung der Quellen ist identisch mit diesen Richtungen, wie relativ leicht an den Dampfaustritten der Thermalquellen entlang der Talsolen festgestellt werden konnte.

Vor allem in der Luftbild-Lineament-Auswertung erscheinen ausgeprägte SE-NW bis ESE-WNW streichende Lineament-Scharen (Abb. 29), die besonders in der Satellitenbild-Lineament-Auswertung der TM-Szene zum Vorschein kommen (Abb. 30). Sie stehen mit einem Gang in Verbindung, den Saemundsson (1967) als Fördergang interpretiert. Er soll sich südlich vom Thjófahlaup über Marardalur nach SE zum Hengill-Massiv erstrecken. In der Luftbild- sowie in der Satellitenbildinterpretation läßt sich die ESE-WNW Richtung an der Häufung von Lineament-Scharen verfolgen, die durch das Hengill-Massiv, das Quellgebiet Ölkelduháls, vorbei am Berg Kyllisfell bis außerhalb des Untersuchungsgebietes ziehen.

Ob diese Lineament-Scharen in Verbindung zu der vermuteten Reykjanes Transform-Fault stehen, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Jedenfalls ist diese Richtung als Maximum in der Lineament-Rose (Abb. 29) ebenso wie in der Satellitenbild-Auswertung (Karte 3; D,E/6) und der TM Detailauswertung des Untersuchungsgebietes Hengill (Abb. 30) vertreten.

Die Gewässernetz-Rose zeigt eine SSW-NNE streichende Orientierung mit Maxima zwischen 20° - 30° und eine S-N Richtung, während eine ESE-WNW Richtung nicht zu erkennen ist (Abb. 29,30).

Im Vergleich zu den Lineament-Rosen ist die Streuung stärker ausgeprägt. Kleine Richtungsmaxima verlaufen recht- bis spitzwinkelig zur Vorzugsrichtung SSW-NNE bzw. S-N.

Die Ergebnisse zeigen, daß die TM-Daten der neueren Satellitengeneration wegen der besseren Auflösung der Bodenpixelgröße zu noch detaillierteren Aussagen führen.

Bei der Untersuchung struktur-geologischer Phänomene ersetzen sie ohne weiteres die zeitaufwendigere Luftbild-Auswertung.

Die im Gelände stichprobenartig durchgeführten Messungen bestätigen die Aussagen von Luftbildern und TM-Satellitenbildern über die Tektonik und das Gewässernetz im Hengill-Gebiet.

HENGILL - GEBIET SW-ISLAND

Gewässernetz, Lineamente, Quellen

Fludibuf

Lineamente aus Luftbildern
(mb=1:36000) vom 11.9.75

Quellen

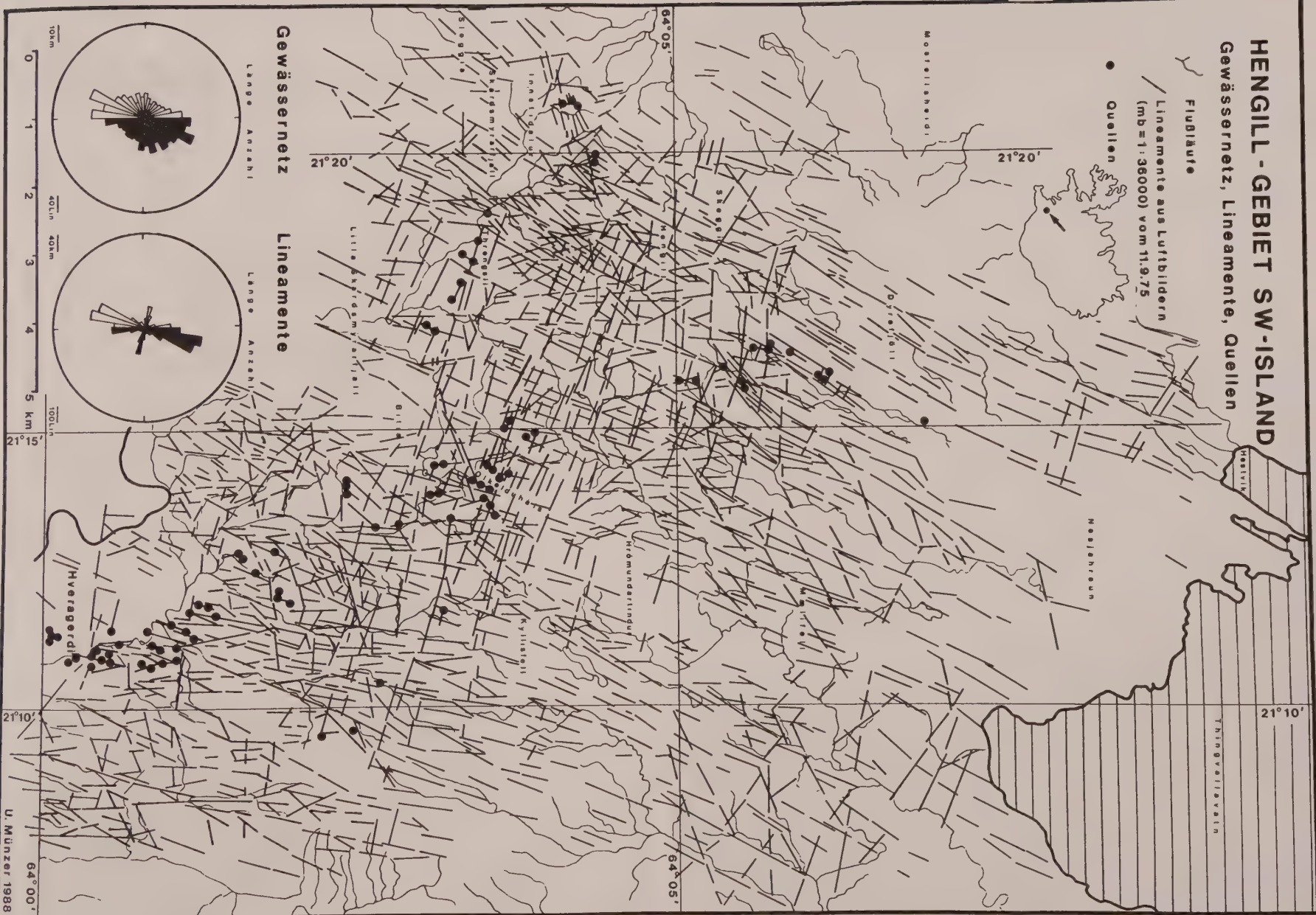


Abb. 29: Karte vom Hengill-Gebiet mit Gewässernetz, Luftbild-Lineamenten und Quellen (entsprechender Satellitenbilddausschnitt s. Abb. 28)

HENGILL-GEBIET SW-ISLAND

Gewässernetz, Lineamente, Quellen

- Flußläufe
- Lineamente aus TM-Szene vom 22.5.85, 7.9.86
- Quellen



Abb. 30: Karte vom Hengill-Gebiet mit Gewässernetz, Satellitenbild-Lineamenten und Quellen (entsprechender Satellitenbildausschnitt s. Abb. 28)

5. ANALYSEN UND BEWERTUNGEN DER UNTERSUCHTEN ISLANDISCHEN MINERALQUELLEN, SAUERLINGE UND AKRATOPEGEN

5.1 Thermalausstritte in Hochtemperatur-Gebieten

Mit der folgenden Beschreibung der Wasseranalysen wird versucht, in den wichtigen Hochtemperatur-Gebieten des Landes einige Thermalwasser-Austritte zu behandeln.

Für die vorliegende Untersuchung wurden 5 Regionen ausgewählt. Sie reichen von der Halbinsel Reykjanes im Südwesten bis ins zentrale Hochland hinauf:

- Hengill-Gebirge: Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsali
(Probe Nr. 1)
jodhaltiges Magnesium-Calcium-Hydrogen-carbonat-Natrium-Thermalwasser
- Thermalgebiet Torfajökull: Thermalquelle Stórhver (Probe Nr. 2)
Natrium-Calcium-Sulfat-Thermalwasser
- Askja-Dyngju-fjöll: Explosionskrater Viti (Probe Nr. 3)
eisenhaltiges Natrium-Calcium-Sulfat-Thermalwasser
- Thermalgebiet Kerlingarfjöll: Thermalquelle Nedri Hveradalir
(Probe Nr. 4)
Calcium-Natrium-Sulfat-Thermalwasser
- Reykjanes: Thermalsole Kraftwerk Svartsengi
(Probe Nr. 5)
Thermalsole mit extrem hohem Calcium-Gehalt.

Die Abb. 32 veranschaulicht die Lage der untersuchten Quellen innerhalb der aktiven neo-vulkanischen Zone. Eine Gegenüberstellung der Analysendaten dieser Thermalwässer mit denen des Trinkwassers von Reykjavik soll dazu beitragen, ihre hohen Werte aufzuzeigen. Ein solcher Vergleich ist insofern berechtigt, als auf Island im allgemeinen die Wässer mineralarm sind. Hochwertige Mineralwässer, wie sie den deutschen Bestimmungen entsprechen, sind nicht auf dem Markt (Tab. 8). Die Ergebnisse der Wasseranalysen sind in einem Piper-Diagramm (Tab. 9) zusammengefaßt.



Abb. 31: Geothermale Regionen und Quellen Islands (aus Münzer 1985)

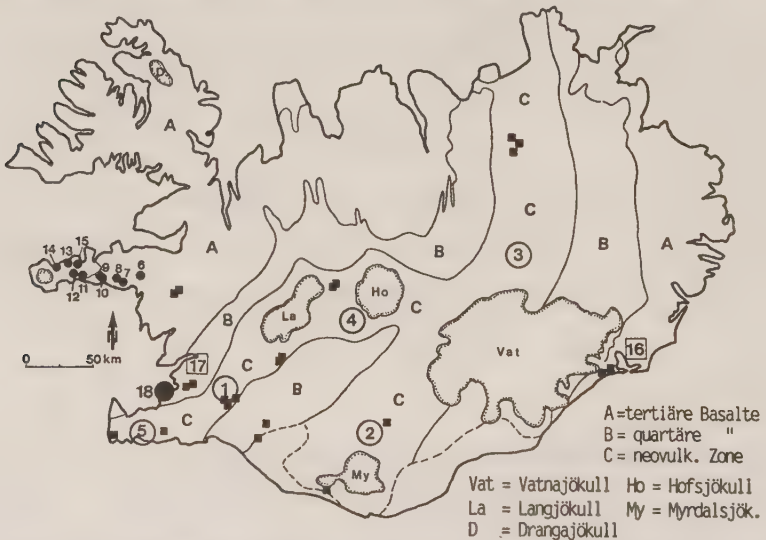


Abb. 32: Untersuchte Quellgebiete und ausgewählte Probenentnahmestellen

■ Lage untersuchter Quellgebiete

- 1 Thermalsäuerling Hengdalalur, Hengill-Gebiet
- 2 Thermalquelle Stórihver, Torfajökull
- 3 Thermalwasser des Explosionskraters Viti, Dyngjufjöll
- 4 Thermalquelle Nedri Hveradalur, Kerlingarfjöll
- 5 Thermalsole Svartsengi, Reykjanes

- 16 Säuerling Ölkelda Höfn
□ 17 Akraþepege Fremiháls
● 18 Trinkwasser von Reykjavík

- 6 ● Säuerling Raudamelur
- 7 ● Säuerling Brautarholt
- 8 ● Säuerling beim Bauernhof Ölkelda
- 9, 10 ● Thermalsäuerling Lýsuhöll, Schwimmbad, Bohrung
- 11 ● Säuerling Bjarnarfosskot
- 12 ● Säuerling Hraunhafnardalur
- 13 ● Säuerling Vallnahnökur
- 14 ● Säuerling Olafsvík
- 15 ● Säuerling Grundarfjörður

5.1.1 Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli, Hengill-Gebiet, Probe Nr. 1

Das Hochtemperatur-Gebiet Hengill wurde schon von Krug von Nidda (1836) und Bunsen (1847) besucht. Umfassende chemische Analysen führte dann Thorkelsson im Jahre 1930 durch. Dieses zwischen der Ortschaft Hveragerdi und dem See Thingvallavatn gelegene Gebiet weist nach Barth (1950) eine deutliche Zweiteilung auf. Im Ost- und Südteil, vor allem in den wasserreichen Talauen entspringen auf SSW-NNE streichenden Verwerfungen zahlreiche alkalische Thermalquellen, während im Westen des anschließenden Hengill-Gebirges Solfataren und Fumarolen überwiegen.

Zusammen mit den alkalischen Thermalwässern im Hveragerdi-Gebiet und im Hengill-Gebirge treten einige Säuerlinge sowie meist saure, oft auch schwefelhaltige Wässer auf. Sie zeichnen sich im allgemeinen durch niedrigere Temperaturen von ca. 20 ° C aus. Ausnahme ist ein Thermalsäuerling bei Reykjadalur mit 67°C. Ihre pH-Werte (Meßgerät W.T.W., pH 56) schwanken zwischen 5,9 und 6,7. Geländemessungen bestätigen, wie aus Abb. 28 ersichtlich, daß der pH-Wert von Quellwässern in Nähe der rhyolithischen Intrusionen des Bergrückens Sleggja südwestlich des Hengill-Massivs im schwach sauren Bereich liegt (ca. pH 5). Mit zunehmender Entfernung steigt bei Hveragerdi der Wert bis in den alkalischen Bereich (ca. pH 9). Die Kohlensäuerlinge des Hengill-Gebietes entsprechen nicht denen, die auf der Halbinsel Snaefellsnes vorkommen. Nach Sonder (1941) haben sie einen hohen Stickstoffgehalt; gleichzeitig zeigen die Analysen eine geringe Chlorkonzentration. Nur wenige Kilometer südöstlich des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli erwähnt Carlé (1980) die Existenz eines weiteren Thermalsäuerlings bei Middalur vom Typ eines Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat Säuerlings.

Mit den im Kap. 4.2, 4.3 und 4.4 beschriebenen Untersuchungen und der Feldkontrolle (Kap. 4.1) konnte gezeigt werden, daß in dem tektonisch stark beanspruchten Hengill-Gebiet die Quellaustritte an die Störungszonen in SSW-NNE Richtung gebunden sind.

Das Quellgebiet des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli befindet sich in einem derartigen Störungsbereich (N 28-32°E) und ist nicht leicht zu erreichen. Es liegt an den südwestlichen Bergflanken des Hengill-Massivs, welche die Hochebene von Innstidalur-Hengladalir einfassen (Abb. 26,31,32,33,34). Am besten folgt man dem Lauf des Baches Hengladalsá, passiert den Berg Litla-Skardsmyrarfjall und wendet sich in nordwestlicher Richtung ca. 1,5 km zum Taleinschnitt Middalur. Dieser wird senkrecht von mehreren SSW-NNE ziehenden Verwerfungen durchschnitten. Auf der Südwestseite des Baches trifft man dann auf eine schmale Piste, die von der Skihütte Skidaskáli über Threngsli zum Innstidalur führt. Bei Threngsli wird die Hochebene Innstidalur-Hengladalir erreicht.

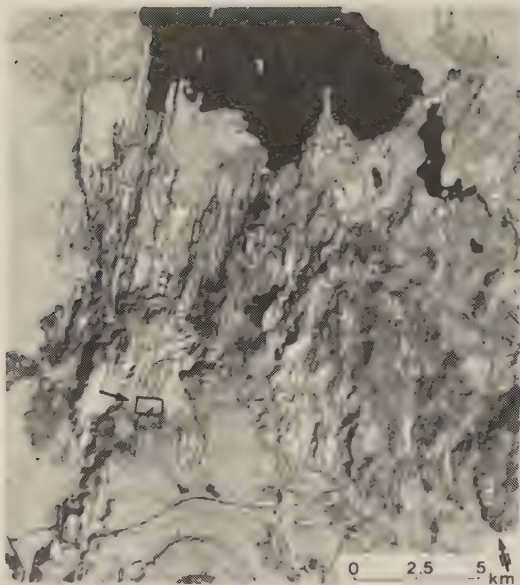


Abb. 33: Ausschnitt der Landsat-TM Szene
(219/15 vom 7.9.86, Kanal 5) mit
dem Hochtemperatur-Gebiet Hengill
und dem Testgebiet mit Probenent-
nahmestelle Hengladalir-Threngsli
1= Thingvallavatn 2= Hengill 3= Hveragerdi



Abb. 34: Ausschnitt einer Luftaufnahme mit Lage des untersuchten Thmalsauerlings Hengladalir-Threngsli
(Probe Nr. 1) und weiteren erkennbaren Quellaustritten
Luftaufnahme vom 16.6.78, F-mynd, Nr. 3381 (Freigabe durch Landnaelingar Islands)



Abb. 35: Luftaufnahme mit Lage des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1) und der Kieselsteinplatte im Ablaufbereich
Aufnahmedatum: 12.8.1966



Abb. 36: Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1)

Entnahmestelle: Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli,
Hengill-Gebiet, Probe Nr. 1

vom: 12.08.1986

pH-Wert: 5,9

Wassertemperatur: 27,0° C

Schüttung: mehrere Liter pro Minute

CO₂-Gehalt: nicht gemessen; erhöhter Austritt von Gas-
blasen

In 1 kg Wasser sind enthalten:

Kationen:	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	110,0	4,785	25,8
Kalium (K ⁺)	8,0	0,205	1,1
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,55	0,030	0,2
Magnesium (Mg ²⁺)	102,85	8,461	45,6
Calcium (Ca ²⁺)	100,8	5,030	27,1
Mangan (Mn ²⁺)	0,000	0,000	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	1,000	0,036	0,2
<u>Summe:</u>	323,20	18,547	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,05	0,003	0,0
Chlorid (Cl ⁻)	12,8	0,360	1,9
Bromid (Br ⁻)	2,40	0,030	0,2
Jodid (J ⁻)	1,50	0,012	0,1
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	8,0	0,167	0,9
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,5	0,008	0,0
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,03	0,001	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	1099,0	18,011	96,9
<u>Summe:</u>	1124,28	18,592	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	1447,48		

Millimol
mmol

Undissoziierte Stoffe:

Kieselsäure, meta(H₂SiO₃): 128,7

1,648

Summe aller gelösten

festen Stoffe:

1576,2 mg/kg

Charakteristik:

Jodhaltiges Magnesium-Calcium-Natrium-
Hydrogencarbonat-Thermalwasser

Die ausgeprägt SSW-NNE ziehenden Verwerfungen zwischen den Bergen Litla- und Stóra- Skardemyrarfjall gehören zu den westlichen Randbrüchen des Hengill-Grabens. Ca. 200 m nach Überqueren des Baches Hengladalsá liegt der Thermalsäuerling in nordöstlicher Richtung am Berghang. Die Höhe wird mit 450 m NN angegeben.

Wie aus der Luftaufnahme (Abb.34) ersichtlich, kennzeichnen die auf der exakt SSW-NNE streichenden Verwerfung liegenden ausgedehnten Sinterablagerungen und hydrothermal zersetzten Hyaloklastite die Stelle. Der Säuerling selbst liegt am oberen Ende einer Sinterplatte, am Rande üppiger Wiesen (Abb. 35, 36). Aus dem Quelloch mit ca. 50 x 50 cm Fläche und einer Tiefe von über 40 cm läuft das 27° C warme Wasser mit einer Schüttung von mehreren Litern pro Minute ab. Es ist leicht säuerlich bis bitter, aber gut schmeckend. Aufsteigende Gasblasen von überschüssiger freier Kohlensäure weisen dies Wasser einwandfrei als Säuerling aus.

Beurteilung der Probe Nr. 1. Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli, Hengill-Gebiet

Die Analyse hat ergeben, daß es sich hier um ein vorzügliches Mineralwasser handelt. Der Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen des jodhaltigen Magnesium-Calcium-Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwassers beträgt 1576,2 mg/kg. Im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegt dieser Wert um das 17,7 fache höher.

Besonders wertvoll ist der hohe Gehalt an Magnesium (102,85 mg Mg^{2+} /kg bzw. 45,6 mval % = c(eq)%). Carlé (1980) erwähnt bei den anderen beiden Thermalsäuerlingen von Middalur und Reykjadalur wesentlich geringere Magnesium-Werte. Sie betragen 45,5 mg Mg^{2+} /kg bzw. 23,31 mval % und 25,5 mg Mg^{2+} /kg bzw. 17,83 mval %. Weiterhin besitzt die Probe Hengladalir-Threngsli einen reichlichen Gehalt an Calcium (100,8 mg Ca^{2+} /kg bzw. 27,1 mval % = c(eq)%) und Hydrogencarbonat (1099,0 mg HCO_3^- /kg bzw. 96,9 mval % = c(eq)%). Einen fast gleich hohen Gehalt an Hydrogencarbonat weisen die Thermalsäuerlinge von Middalur und Reykjadalur auf. Der bei der hier untersuchten Probe festgestellte Jod-Gehalt von 1,50 mg/kg ist günstig zu beurteilen.

5.1.2 Thermalquelle Stórhver. Thermalgebiet am Torfajökull (Probe Nr. 2)

Am Torfajökull befindet sich mit ca. 400 km² Islands größtes Hochtemperatur-Gebiet, das sich räumlich mit einer umfangreichen Caldera deckt (Abb. 37). Unzählige heiße Quellen, Solfataren und Fumarolen kennzeichnen das aus Rhyolith pleistozänen Alters bestehende Areal, das möglicherweise während der letzten Eiszeit gebildet wurde (Saemundsson 1972). Sonder (1941) vermutet, daß die große Ansammlung von Quellen auf einem verhältnismäßig engen Raum auf die Existenz eines lakkolithischen Intrusivkörpers schließen läßt. Nach den postglazialen Laven zu urteilen, soll bereits das liparitische Differentiationsstadium eingetreten sein. Auch Barth (1950) erwähnt solche liparitische postglaziale Lavaströme, die er mit folgenden Flächenangaben belegt: Hrafninnuhraun 25 Mill. m², Dómadalshraun 13 Mill. m², Laugahraun 8 Mill. m², Námarshraun 4 Mill. m². Sonder bezeichnet jedoch den Hrafninnuhraun, dort liegt im Westen bis Südwesten die größte Ansammlung von Quellaustritten, als liparitische Staukuppe. Einzigartige, reine Obsidiane stehen hier an. In dem stark zertalten Gelände gibt es wassergefüllte Krater und offene Spalten. Die vielen Dampfquellen zeugen von starken Entgasungsvorgängen, vereinzelt sind Schlotfüllungen und Magmagänge herausgewittert.

Die Auswertung und die Interpretation der Satellitenbilder (Karte 2,3; Abb. 37) ergeben, daß im Hochtemperatur-Gebiet am Torfajökull ausgeprägte SW-NE Großstrukturen bestehen, die sich mit dem tektonischen Gefüge der neo-vulkanischen Zone decken. Sie durchziehen z.T. den Rhyolith-Komplex der Region. Eine deutliche Zuordnung der zahlreichen Quellaustritte, auch dem der Probenentnahmestelle, zu diesen dominierenden Richtungen ist nicht ersichtlich. Nur stellenweise ist eine gewisse Aufreihungstendenz in dem morphologisch stark eingeschnittenen Gelände zu erkennen.

Aus hunderten von saueren Thermalquellen fließen Wasser mit hohen Temperaturen aus, bei denen vor allem der Sulfat-Gehalt überwiegt. Barth und Carlé geben die pH-Werte mit 1 bis 2 an, Arnórsson mit allgemein niedrigeren Werten, während eigene Messungen am Stórhver einen pH-Wert von 4,4 ergaben. Viele Quellen zeigen nur geringe Mineralisationen, da reichlich Oberflächenwasser aus Niederschlägen und abgeschmolzenen Schnee- und Eismassen beigemischt ist. Saure Fumarolen und wasserarme Schlammsprudel ergänzen das Bild.

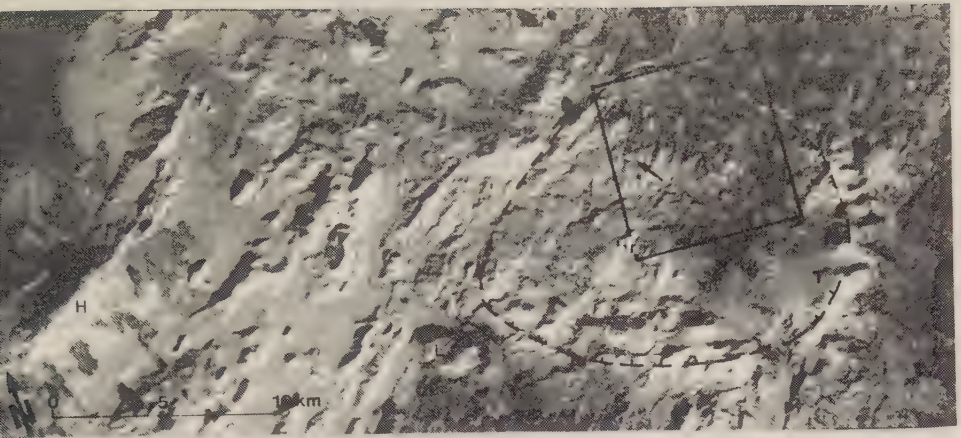


Abb. 37 : Ausschnitt der Landsat-TM Szene (219/15 vom 3.10.1984, Kanal 4) mit Lage des Hochtemperatur-Gebiets am Torfajökull (innerhalb der Caldera) und Ausschnitt der Luftaufnahme

H = Vulkan Hekla T = Torfajökull Hr = Hrafninnusker L = Laufafell f = Calderarand

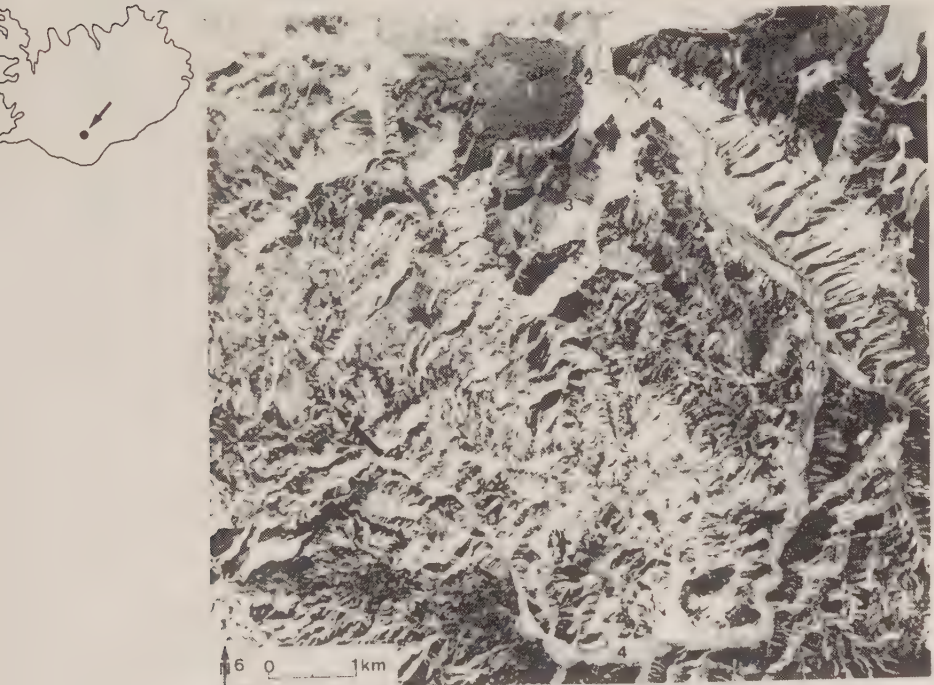


Abb. 38 : Ausschnitt der Luftaufnahme mit dem Rhyolith-Gebiet der Hochtemperatur-Region am Torfajökull und Lage der Thermalquelle Stórhver (Probe Nr. 2)
(Luftaufnahme v. 9.8.79, F-mynd, Nr. 5965/1389; Freigabe d. Landmaelingar Islands)

- | | | |
|---------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 = Obsidianstrom | 4 = Jökulgil | 7 = Thermalquelle Stórhver |
| 2 = Landmannalaugar | 5 = Brennisteinsalda | |
| 3 = Bláhnúkur | 6 = Hrafninnusker | |

Entnahmestelle: Thermalquelle Stórhver, Thermalgebiet am Torfajökull, Probe Nr. 2

vom: 11.08.1973
pH-Wert: 4,4
Temperatur
des Wassers: 95,0° C

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	265,0	11,527	54,40
Kalium (K ⁺)	5,2	0,133	0,63
Calcium (Ca ²⁺)	109,0	5,439	25,67
Magnesium (Mg ²⁺)	18,0	1,481	6,99
Eisen (Fe ²⁺)	72,0	2,578	12,17
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,55	0,030	0,14
<u>Summe:</u>	469,8	21,189	100,00

<u>Anionen:</u>			
Chlorid (Cl ⁻)	17,4	0,491	2,31
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	966,0	20,112	94,80
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	35,0	0,574	2,70
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,55	0,011	0,05
Fluorid (F ⁻)	0,50	0,026	0,12
<u>Summe:</u>	1019,5	21,214	100,00

<u>Undissoziierte Bestandteile</u>		Millimol mmol
Kieselsäure, meta (H ₂ SiO ₃)	255,0	3,265
Borsäure, meta (HBO ₂)	0,1	0,002

Summe der gelösten
festen Stoffe: 1744,35

Gasförmige Bestandteile:

Freies Kohlendioxid
(CO₂) mg/kg n.a.
Freier Schwefelwasserstoff
(H₂S) mg/kg n.n., < 0.1 mg/kg

Charakteristik: eisenhaltiges Natrium-Calcium-Sulfat-Thermalwasser

(aus Höll, Münzer 1975,
berichtet)

Die Quelle Stórhver liegt inmitten des Thermalgebiets und ist nur mit einem mehrstündigen Fußmarsch, am besten von Landmannalaugar aus, zu erreichen - vorbei am Obsidianstrom, am Brennisteinsalda und dann weiter in südwestlicher Richtung (Abb. 32, 38). Ausgedehnte Schnee- und Eisflächen, ausgehöhlt von darunterliegenden Quellen, erschweren den Weg. Aufsteigender Wasserdampf läßt schon von weitem den Quellbereich, der einer Solfathermenreihe angehört, erkennen. Die Quelle liegt in einer Höhe von 950 m NN am Hang eines WSW streichenden Tales. Messungen ergaben, daß das bis zu 30 cm auffallende Quellwasser eine Temperatur von 95° C hat.

Beurteilung der Probe Nr. 2. Thermalquelle Stórhver.
Thermalgebiet am Torfajökull

Die Analyse hat ergeben, daß es sich nach neuesten Erkenntnissen bei diesem eisenhaltigen Natrium-Calcium-Sulfat-Thermalwasser um ein Mineralwasser von hohem Wert handelt. Der Gehalt an gelösten festen Stoffen beträgt 1744,35 mg/kg. Neben dem Natrium (265,0 mg Na⁺/kg bzw. 54,40 mval % = c(eq)%) ist der Calcium-Gehalt (109,0 mg Ca²⁺/kg bzw. 25,67 mval % = c(eq)%) und der Sulfat-Gehalt (966,0 mg SO₄²⁻/kg bzw. 94,80 mval % = c(eq)%) beachtlich - eine Tatsache, die auf das relativ junge Alter des Thermalgebietes Torfajökull und das Vorhandensein einer restlichen Magmenkammer schließen läßt (s. Thermalgebiet Kerlingarfjöll und Explosionskrater Viti/ Askja-Dyngjufjöll).

Der Eisengehalt (72,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 12,17 mval % = c(eq)%) ist wertvoll; er bestätigt die Beobachtung, daß oft erhöhte Eisenmengen in Sulfat-Wässern vorkommen. Daß derartige Wässer im extrem sauren bis sauren Bereich liegen, erkannte bereits Barth (1950); auch die eigenen Resultate ergeben pH-Werte zwischen 4,2 und 4,5; bei der Probe Nr. 2 beträgt der pH-Wert 4,4.

5.1.3 Thermalwasser des Explosionskraters Víti, Dyngjufjöll, Probe Nr. 3

Im zentralen Teil Islands befindet sich das pleistozäne Vulkanmassiv des Dyngjufjöll mit 20-25 km Durchmesser (Abb. 32,39,40). Die höchste Erhebung, der Thorvaldstindur mit 1510 m NN, gehört zu dem ältesten Teil des halbkreisförmig angeordneten Dyngjufjöll; sie besteht im wesentlichen aus subglazial entstandenen Hyaloklastiten und Pillow-Laven. Aus den postglazialen Eruptions-Stellen stammen basaltische Laven und Tuffe.

Van Bemmelen und Rutten (1955) nehmen an, daß diese Laven von einer gewaltigen lakkolithischen Intrusion innerhalb der unterlagerten Plateau-Basalte herrühren, die zu der vulkantektonischen Aufwölbung des Dyngjufjöll führten. Ihr Zusammenbruch ließ die Askja - Caldera und den Öskjuop - Graben entstehen. Der Caldera-Boden ist mit postglazialer Lava bedeckt. 1875 begann erneut eine Periode vulkanischer Tätigkeit mit dem stärksten explosiven Ausbruch aus dem im März entstehenden Explosionskrater Víti. Riesige Mengen flüssigen Magmas flossen in unterirdischen Spaltensystemen nach Norden ab, während die Víti ca. 2 km³ rhyolithischen Bims förderte. Im Anschluß an diesen Ausbruch sank der SE-Teil der Askja-Caldera ein und es bildete sich der ca. 170 m tiefe See Öskjuvatn (Knebel-See), eine Caldera von 3 x 4 km (Abb. 41).

In einer naturwissenschaftlichen Studie über Island führte Reck (1912) die Arbeiten des Geologen Knebel fort, der 1907 hier ums Leben kam. Mehrere kleine Ausbrüche von basaltischer Lava folgten in den Jahren 1921-30 im Bereich der Caldera - Randbrüche. Die vorerst letzte Eruption endete 1961 im oberen Teil des Öskjuop. Ein Schlackenkegel förderte dort einen 11 km² großen Lavastrom.

Auf dem Satellitenbild-Mosaik (Karte 1) und der Abb. 39 ist deutlich die Verbindung zwischen den meist S-N gerichteten Spalten, Verwerfungen und Brüchen der neo-vulkanischen Zone Nordislands und den Zentralvulkanen, Schildvulkanen und zahlreichen Kraterketten zu erkennen. Das Dyngjufjöll-Massiv mit dem Explosionskrater Víti liegt im Kreuzungsbereich der SW-NE verlaufenden Störungszone der südlichen und der S-N orientierten nördlichen neo-vulkanischen Zone. Die Auswertungen bestätigen, daß der Explosionskrater Víti, wie auch andere postglaziale Ausbruchstellen, an diese SW-NE und S-N ziehenden Bruchsysteme der Region gebunden sind.

Die Víti liegt am Nordrand des Öskjuvatn in einer Geländehöhe von 1112 m NN, ihr Durchmesser beträgt etwa 100 m, ihre Tiefe ca. 50 m (Abb. 41). Bimssteinblöcke und aufgeblähter Obsidian bilden die hydrothermal zersetzten Kraterwände. Der Kraterboden ist mit gelbgrünem, trübem Wasser gefüllt, dessen Temperatur 1973 mit 32° C und 1986 mit 25° C gemessen wurde.

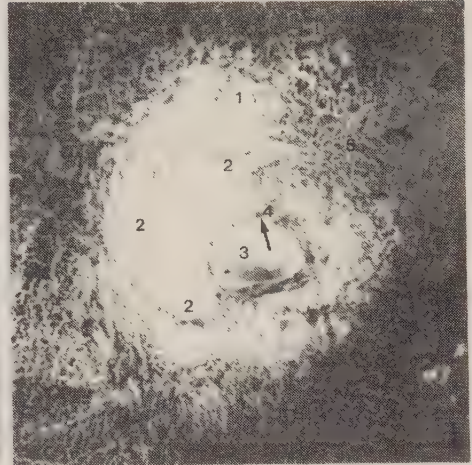
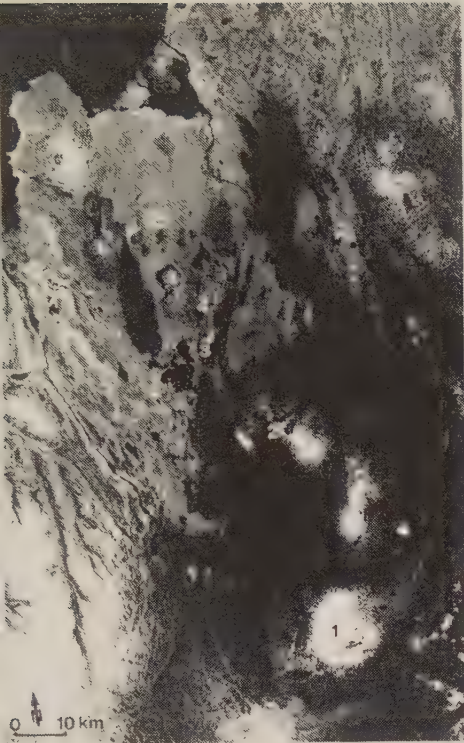


Abb. 39: Ausschnitt der Landsat-MSS Szene (ID 2494-11503, vom 30.5.76, Kanal 7) mit den Hochtemperatur-Regionen

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| 1 = Dyngjufjöll - Askja | 4 = Krafla |
| 2 = Ketildyngja | 5 = Theistareykir |
| 3 = Nánafjall | |

Abb. 40: Ausschnittvergrößerung der Abb. 39 mit dem Vulkarmassiv Dyngjufjöll und der Probenentnahmestelle

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 = Dyngjufjöll | 4 = Explosionskrater Viti |
| 2 = Caldera | |
| 3 = Öskjuvatn (Knebel-See) | 5 = Lavaström von 1961 |



Abb. 41: Blick vom Caldera-Rand über den Öskjuvatn (Knebel-See) zum westlichen Caldera-Rand des Dyngjufjöll-Massivs. Die Probenentnahmestelle (Probe 4) im Explosionskrater Viti liegt im Bildvordergrund

Entnahmestelle: Thermalwasser des Explosionskraters Viti,
Dyngjufljöll, Probe Nr. 3

vom: 21.08.1973
pH-Wert: 4,5
Temperatur des
Wassers: 32,0° C

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	395,0	17,181	58,57
Kalium (K ⁺)	6,1	0,156	0,53
Calcium (Ca ²⁺)	182,0	9,082	30,95
Magnesium (Mg ²⁺)	22,0	1,81	6,17
Eisen (Fe ²⁺)	31,0	1,11	3,78
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,00
<u>Summe:</u>	636,1	29,339	100,00

<u>Anionen:</u>			
Chlorid (Cl ⁻)	198,0	5,584	18,904
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	1150,0	23,944	81,06
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	0,0	0,000	0,00
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,2	0,000	0,00
Fluorid (F ⁻)	0,2	0,011	0,04
<u>Summe:</u>	1348,4	29,539	100,00

<u>Undissoziierte Bestandteile</u>		Millimol mmol
Kieselsäure,meta (H ₂ SiO ₃)	280,0	3,586
Borsäure,meta (HBO ₂)	0,8	0,018

Summe der gelösten
festen Stoffe: 2265,30

Gasförmige Bestandteile:

Freies Kohlendioxid(CO₂) mg/kg n.a.
Freier Schwefelwasserstoff
(H₂S) mg/kg n.n., > 0.1 mg/kg

Charakteristik: eisenhaltiges Natrium-Calcium-Sulfat-
Thermalwasser

(aus Höll, Münzer 1975)

Beurteilung der Probe Nr. 3. Thermalwasser des Explosionskraters Viti, Dyngjufjöll

Das Wasser des Explosionskraters Viti ist ein eisenhaltiges Natrium-Calcium-Sulfat-Thermalwasser mit einem Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen von 2265,3 mg/kg. Es hat einen hohen Gehalt an Calcium (182,0 mg Ca^{2+} /kg bzw. 30,95 mval % = c(eq)%). Mit 1150,0 mg SO_4^{2-} /kg bzw. 81,06 mval % = c(eq) % wurde zudem der stärkste Sulfat-Gehalt aller untersuchten Proben festgestellt, was auf den magmatischen Ursprung dieses hochkonzentrierten Wassers zurückzuführen ist.

5.1.4 Thermalquelle Nedri Hveradalir. Thermalgebiet Kerlingarfjöll, Probe Nr. 4

Im Zentrum Islands liegt das Thermalgebiet Kerlingarfjöll zwischen den Gletschern Lang- und Hofsjökull. Ähnlich wie bei dem Hochtemperatur-Gebiet Torfajökull ist hier nur rhyolitisch-Gesteinsmaterial anzutreffen, leicht erodierbare liparitische Palagonite, Tuffe und Bims, alle jedoch hydrothermal stark zersetzt. Tief eingeschnittene Täler kennzeichnen das 2,5 x 1,5 km große Quellgebiet von Hveradalir. Es liegt in einer Geländehöhe von 900 bis 1200 m. Thoroddsen besichtigte und benannte erstmals 1888 dieses Gebiet. Thorkelsson (1910) führte dann einige Gasuntersuchungen an Quellen im Vestur-, Mid- und Austur-Hveradalir durch, während Humlum (1935) den ersten Versuch einer Kartierung der Quellen unternahm. Über 1000 verschiedene Quellen wurden von ihm registriert. Rein von der Anzahl der Quellen her gesehen, wird auch heute noch dieses Gebiet, die Kerlingarfjöll, als intensivstes Thermalgebiet Islands bezeichnet.

Die meisten Quellen haben Temperaturen zwischen 80° und 90° C; ihr pH-Wert liegt im schwach sauren Bereich. Im gesamten Tal Hveradalir macht sich der Geruch von erhöhtem Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid bemerkbar. Elementarer Schwefel und Gipsausblühungen sind auf dem zu einer tonigen Masse aufgelösten Rhyolith zu finden.

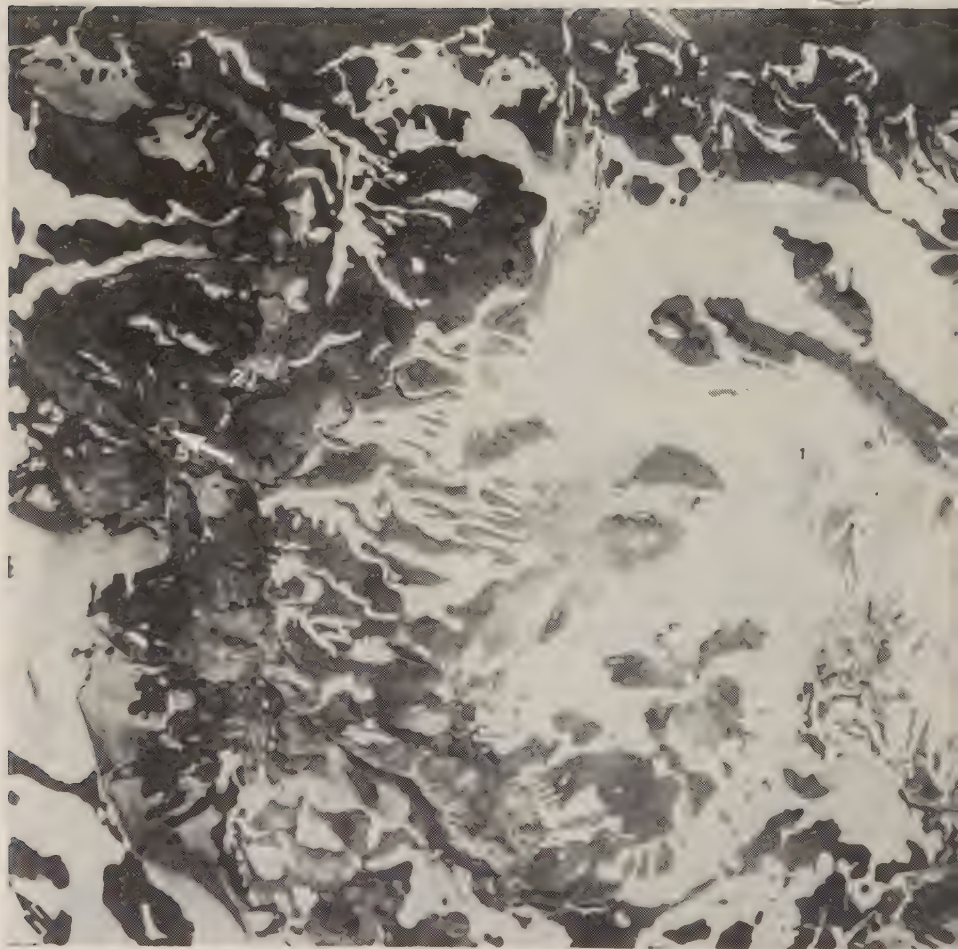


Abb. 42: Farbluftaufnahme des Hochtemperatur-Gebiets Kerlingarfjöll
mit Lage der Thermalquelle Nedri Hveradalir (Probe Nr. 3)
inmitten hydrothermal zersetzten rhyolithischen Gesteins

- | | | |
|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 = Berg Snaekollur | 3 = Skihütte | 5 = Thermalquelle |
| 2 = Bach Inni Asgardsá | 4 = Tal Nedri Hveradalir | Nedri Hveradalir |

(Freigabe durch Landnaelingar Islands)

Entnahmestelle: Thermalquelle Nedri Hveradalir, Thermalgebiet
Kerlingarfjöll, Probe Nr. 4

vom: 06.08.1973
 pH-Wert 4.2
 Temperatur des
 Wassers: 87,0°C

In 1 kg Wasser sind enthalten:

Kationen:	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	140,0	6,090	37,28
Kalium (K ⁺)	2,7	0,069	0,42
Calcium (Ca ²⁺)	153,0	7,635	46,74
Magnesium (Mg ²⁺)	30,2	2,488	15,23
Eisen (Fe ²⁺)	0,50	0,018	0,11
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,65	0,036	0,22
<u>Summe:</u>	327,1	16,335	100,00

Anionen:			
Chlorid (Cl ⁻)	99,2	2,798	16,53
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	678,0	14,116	83,38
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	0,00	0,000	0,00
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,45	0,009	0,05
Fluorid (F ⁻)	0,10	0,005	0,03
<u>Summe:</u>	777,75	16,976	100,00

<u>Undissoziierte Bestandteile</u>		Millimol mmol
Kieselsäure, meta(H ₂ SiO ₃)	140,0	1,79
Borsäure, meta(HBO ₂)	0,1	0,005

Summe der gelösten
festen Stoffe: 1244,95

Gasförmige Bestandteile:
 Freier Schwefelwasserstoff
 (H₂S) mg/kg

n.n., < 0.1 mg/kg

Charakteristik: Calcium-Natrium-Sulfat-Thermalwasser
 (aus Höll, Münzer 1975,
 berichtet)

Die Quelle liegt im Tal Nedri Hveradalir an der Westseite des Baches Inni Asgardsá, ca. 4 km bachaufwärts von dem Haus einer Skischule (Abb. 32, 42). Die Quelle, bzw. das Quelloch mit einem Durchmesser von 1,5 m, ist nur einige Meter von diesem Bach entfernt; die Wassertemperatur beträgt 87° C. Das bis zu 30 cm auffallende, kochende Wasser fließt über den weichen tonigen Quellrand in das kalte Bachwasser. Zu beiden Seiten der Inni Asgardsá erheben sich steile, ca. 20 m hohe, stark hydrothermal zersetzte, bunt verfärbte Bergflanken.

Beurteilung der Probe Nr. 4. Thermalquelle Nedri Hveradalir. Thermalgebiet Kerlingarfjöll

Mit einem Gesamtgehalt von 1244,95 mg/kg gelöster fester Stoffe kann das Wasser dieser Quelle als Mineralwasser mit der Charakteristik eines Calcium-Natrium-Sulfat-Thermalwassers bezeichnet werden, da sein Gehalt knapp über der Mindestgrenze liegt. Der Sulfat-Gehalt zeigt große Übereinstimmung mit dem anderer Wässer in den Thermalgebieten (Proben Nr. 2,3 und Anhang d).

Bedeutsam ist bei der Quelle Nedri Hveradalir der erhöhte Calcium-Gehalt (153,0 mg Ca^{2+} /kg bzw. 46,74 mval % = c(eq)%). Wegen des niedrigen pH-Wertes von 4,2 müßte ein derartiges Wasser vor Gebrauch oder Abfüllung mit etwas Kalkhydrat versetzt werden. Eventuell sollte man abscheidendes Eisen sich absetzen lassen.

5.1.5 Thermalsole Kraftwerk Svartsengi, Halbinsel Reykjanes, Probe Nr. 5

Einen besonderen Typ isländischer Wässer stellen die eingesickerten, aufgeheizten Meerwässer im Küstenbereich dar. Dies gilt vor allem für die strandnah austretenden oder auch erbohrten salzigen Wässer im Küstenbereich der Halbinsel Reykjanes. Eine große Zahl von submarinen Spaltensystemen streichen SSW-NNE, sie sind dem tektonischen Muster der neovulkanischen Zone in diesem Bereich angepaßt und ermöglichen somit ein Eindringen des Meerwassers. Nach Hjartarson (1981) befindet sich im Raum der Halbinsel Reykjanes Islands größte Meerwasser - "Intrusion".

Sowohl die früher als Geysir tätige Kochquelle am Leuchtturm von Kap Reykjanes als auch die Bohrungen am gleichen Ort zeigen mit einem Gehalt von rund 33000 bis 47000 mg/kg fester gelöster Stoffe eine absolute Vorherrschaft von Natrium und Chlorid. Bei allen Proben im südwestlichen Küstenraum handelt es sich um konzentrierte Natrium-Chlorid-Thermalwässer, wie aus den Arbeiten von Barth (1950) und Carlé (1980) zu ersehen ist. Auch Sonder (1941) und Höll (1971) weisen auf diese Vormachtstellung hin.

Die eigenen Analysen (Probe Nr. 5) bestätigen dies. Das Wasser der Bohrstelle von Svartsengi ist als ein typisches Natrium-Chlorid-Thermalwasser anzusehen.

Ausführliche Untersuchungen führte Sonder im Bereich von Krisuvík und Seltun durch. Arnórsson gibt die Fläche des geothermischen Feldes bei Krisuvík mit 40 km² an. Drei neuere Bohrungen bis auf 1200 m Tiefe im Bereich des Hyaloklastitrückens Sveifluháls und Vesturháls weisen gleichfalls auf einen erhöhten Na-Cl Gehalt hin.

Sonder beschreibt eine Einzelgruppe von heißen Dampfaustritten ca. 5 km nördlich von der Ortschaft Grindavík, d.h. also bei Svartsengi, die besonders bei feuchter Witterung durch aufsteigende Dampftätigkeit zu erkennen ist (Abb. 32,43).

Svartsengi kann nicht als ein selbständiges Hochtemperatur-Gebiet bezeichnet werden; es liegt jedoch zwischen dem Kap Reykjanes und Krisuvík (Abb. 43), im Bereich der Halbinsel Reykjanes, die sich durch erhöhte vulkanische und geothermale Aktivität auszeichnet.

Die Interpretation der Landsat-TM Daten (s. auch Abb. 43) zeigt, daß Störungen bzw. Gangsysteme in SW-NE bis SSW-NNE Richtung vorherrschen. Das Geothermalfeld des Kraftwerks mit seinen Bohrstellen liegt auf diesen Brüchen, die dem tektonischen Muster des südlichen Streifens der neo-vulkanischen Zone folgen.

Das Kraftwerk Svartsengi ist etwa 50 km von Reykjavík, 18 km von dem Natostützpunkt Keflavík und 5 km von Grindavík entfernt (Abb. 44). Hier wurden 1971 und 1972 zwei Bohrungen durchgeführt, um heißes Wasser für die Beheizung der Stadt Grindavík zu gewinnen. Als Ergebnis leitete die Energie-Behörde eine umfassende Untersuchung des gesamten geothermischen Geländes ein.

Zwei weitere Bohrungen erreichten Tiefen von 5000 und 5600 Fuss und zeigten, daß hier wesentlich mehr Energie im Untergrund und somit mehr Heißwasser mit hohem Natrium-Chlorid Gehalt vorhanden war als erwartet.

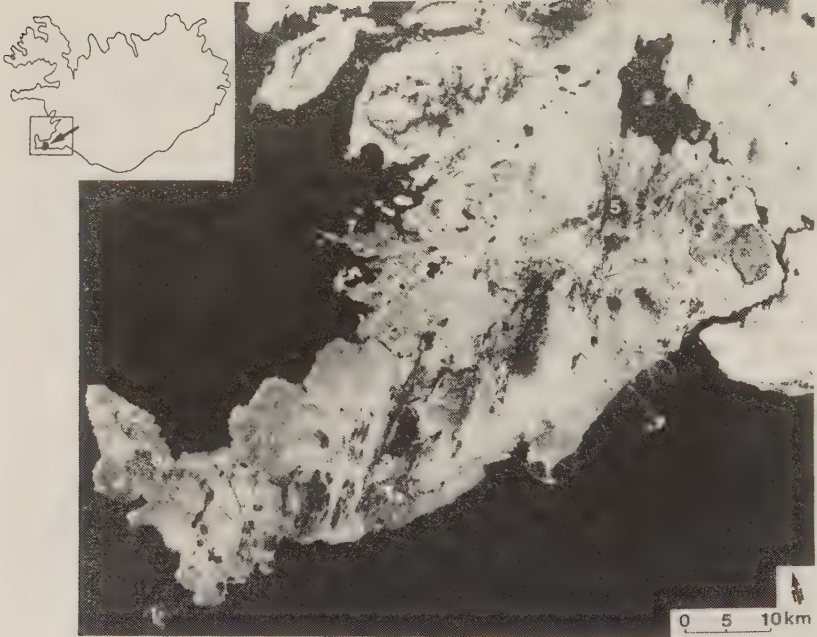


Abb. 43: Ausschnitt der Landsat-TM Szene (220/15, vom 22.5.85, Kanal 5) mit der Halbinsel Reykjanes und den Hochtemperatur-Regionen

- | | | |
|-------------------|------------------------------|------------------------|
| 1 = Kap Reykjanes | 4 = Brennisteinsfjöll | 7 = Reykjavík |
| 2 = Svartsengi | 5 = Hengill | 8 = See Thingvallavatn |
| 3 = Krisuvík | 6 = Nato Stützpunkt Keflavík | |



Abb. 44: Luftaufnahme der Kraftwerksanlage Svartsengi mit der "Blauen Lagune" und der Lage der Probenentnahmestelle der Thermalsole Svartsengi (Probe Nr. 5), Aufnahmedatum: 15.8.1986

Entnahmestelle: Thermalsole Kraftwerk Svartsengi, Halbinsel Reykianes, Probe Nr. 5

vom: 11.08.1986

pH-Wert: 7,3

Wassertemperatur: 89,0°C

Schüttung: mehrere 100 Liter pro Minute

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	7710,0	335,366	70,7
Kalium (K ⁺)	3240,0	82,860	17,5
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,60	0,033	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	8,1	0,666	0,1
Calcium (Ca ²⁺)	1110,0	55,389	11,7
Mangan (Mn ²⁺)	0,000	0,000	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	0,200	0,007	0,0
<u>Summe:</u>	12068,90	474,321	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,05	0,003	0,0
Chlorid (Cl ⁻)	16709,0	471,300	99,4
Bromid (Br ⁻)	7,20	0,090	0,0
Jodid (J ⁻)	0,43	0,003	0,0
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	95,0	1,978	0,4
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,0	0,000	0,0
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	42,7	0,700	0,1

<u>Summe:</u>	16854,38	474,074	100,0
---------------	----------	---------	-------

Anionen+Kationen: 28923,28

Millimol
mmol

Undissoziierte Stoffe:

Kieselsäure,meta(H ₂ SiO ₃)	176,8	2,264
Borsäure,meta (HBO ₂)	0,0	

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 29100,1 mg/kg

Gesamtrückstand: 28668,0 mg/kg

Charakteristik: Thermalsole mit sehr hohem Calcium-Gehalt

Natürliches Niederschlags- und Oberflächenwasser wird in Rohre eingeleitet, da bei der heißen Sole Korrosionsgefahr besteht. Ihre Dämpfe heizen das eingeleitete Wasser auf, sodaß heute Städte und Ortschaften im südwestlichen Teil der Halbinsel über ein Rohrsystem von über 290 km Länge versorgt werden. Derzeit werden ca. 12000 l/min mit einer Temperatur von 85° - 125°C gefördert; drei Dampfturbinen mit einer Leistung von 8 MW sichern die Energieversorgung der Anlage.

Auf dem Kraftwerksgelände läuft aus einem Schacht, es handelt sich um die Probenentnahmestelle, kochendes Wasser mit einer Temperatur von 89° C ins Freie. Die Schüttung dürfte an dieser Stelle schätzungsweise mehrere hundert Liter pro Minute betragen. Das Überschüssige heiße Wasser aus der Kraftwerksanlage und aus der Entnahmestelle sammelt sich nordwestlich des Kraftwerks und bildet auf rezenten Laven die sog. Blaue Lagune, einen kleinen See von mindestens 50 x 100 m Ausdehnung und einer Tiefe von 1-2 m (Abb. 44). Die Wassertemperatur schwankt je nach Entfernung vom Einlauf zwischen 28° und 90° C. Der Boden des Sees ist mit einer ca. 60 cm dicken, milchig-weißen Sole-Ablagerung aufgefüllt.

Beurteilung der Probe Nr. 5. Thermalsole Kraftwerk Svartsengi, Halbinsel Reykjanes

Bei dem künstlich erschlossenen Wasser am Kraftwerk Svartsengi handelt es sich um eine wertvolle Thermalsole. Der untere Grenzwert für eine Sole wird um fast das Doppelte überschritten. Sie hat aber nicht nur den doppelten Gehalt an Natrium (7710,0 mg Na⁺/kg bzw. 70,7 mval % = c(eq)%) und Chlorid (16709,0 mg Cl⁻/kg bzw. 99,4 mval % = c(eq) %), sondern als Besonderheit auch einen enorm hohen Gehalt an Calcium (1110,0 mg Ca²⁺/kg bzw. 11,7 mval % = c(eq)%). Carlé (1980) erwähnt für ein anderes Bohrloch bei Svartsengi einen Calcium-Wert von 906,0 mg/kg bei 21652,17 mg/kg gelöster fester Stoffe. Der Überraschend hohe Gesamtgehalt aller gelösten festen Stoffe beläuft sich bei der eigenen Probe auf 29100,1 mg/kg. Er ist 327,7 mal höher als die entsprechenden Werte des Trinkwassers von Reykjavík (Probe Nr. 18).

Zusätzlich wurde ein geringer Jod-Anteil (0,43 mg J-/kg) festgestellt.

5.1.6 Weitere Hochtemperatur-Regionen

Mineralquellen, Gasaustritte und Thermalwässer sind nicht gleichmäßig in der neo-vulkanischen Zone zu finden, sondern sind verteilt auf ihren gesamten Verlauf und auf gewisse Ballungsräume konzentriert (Abb. 32). Von Bedeutung sind nach Höll (1971) relativ wenige weitere Regionen.

Im besonderen ist auf Hveravellir oder die Ebene der heißen Quellen im zentralen Teil Islands zwischen den Gletschern Lang- und Hofsjökull hinzuweisen. Hier liegt die große Springquelle Bláhver, die als eine echte Schwefelquelle zu klassifizieren ist. Die hauptsächlich alkalischen heißen Quellen konzentrieren sich auf einen kleinen Bereich von ca. 200 x 200 m am nördlichen Ende des postglazialen Lavafeldes des Schildvulkans Kjalfell, Kjalhraun. Ein Fumarolenbereich erstreckt sich ca. 1 km südwärts. Dieses Geothermalfeld liegt exakt auf der N-S streichenden Linie einer aktiven tektonischen Störung (Arnórsson 1983).

Die Mineralisierung der meisten heißen Quellen und Geysire Islands erreicht nicht den Mindestwert für natürliche Mineralwässer von 1000 mg/kg (Tab. 8). Dies trifft auch auf den Geysir von Haukadalur, den heute noch tätigen Strokkur und die Therme Blesi zu (Höll 1971). Sie sind sogenannte Superthermen mit der Charakteristik von Natrium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Thermalwässern. Nur beim Großen Geysir spielt in Relation zum Gesamtgehalt ein hoher Sulfat-Anteil (123,8 mg SO_4^{2-} /kg) zusätzlich eine Rolle. Ähnliche Charakteristika zeigen nach Höll auch die kleinen Geysire, Siedequellen und die heißen Überlaufquellen im Gebiet von Hveragerdi (SW-Island).

Wie in Kap. 3.5 erwähnt, passen sich in der Regel die Heißwasserquellen und die Geysire - davon dürfte es in Island schätzungsweise 30 geben - den tektonisch vorgegebenen Bruchsystemen an. Auffallend ist ferner die enge Verknüpfung mit seismischer Tätigkeit. So entstanden beispielsweise bei dem großen Beben im Jahr 1920 bei Krisuvík (SW-Island) das neue Thermalfeld Nyihver, bei Reykholt gab es für einige Monate den Geysir Arhver (Beben von 1897), während im Gebiet von Hveravellir der Gamli Geysir verschwand. Bunsen (1847), Tuxen (1938), Thorkelsson (1940), Barth (1950), Fridleifsson (1979), um nur einige zu nennen, stellen auch im Bereich von Haukadalur eine Relation zwischen seismischer Tätigkeit und Geysir-Eruptionen fest.

Durch Aufreißen und Vergrößern zahlreicher Spalten macht sich vor allem eine tektonische Unruhe im Mývatn-Námafjall-Krafla Gebiet bemerkbar, wie dies durch die vulkanischen Ereignisse der Jahre 1975-84 belegt wird (Abb.14,15).

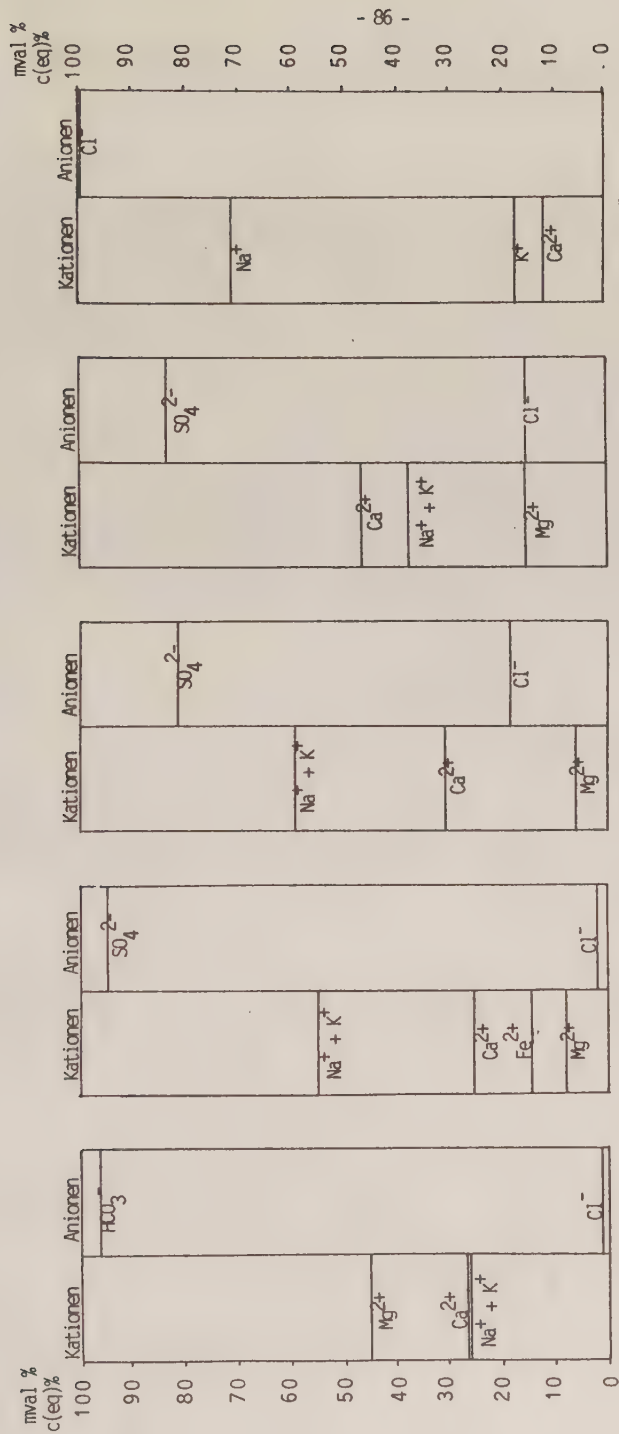
Die deutlich erkennbare S-N Orientierung der Dehnungsrisse, Spalten und Kraterketten, der thermalen Wasseraustritte bzw. der Quellanordnung entspricht exakt dem geotektonischen Muster der nördlichen neo-vulkanischen Zone.

Die Thermaltätigkeit vom Námafjall am Myvatn-See konzentriert sich hauptsächlich auf den Osthang dieses Palagonit-Rückens und die vor ihm liegende Ebene Hverarönd. Sie wird gegen die Lavafelder Burfellshraun durch eine junge S-N streichende Verwerfung abgegrenzt. Das Hochthermalgebiet ist auch heute noch starken Veränderungen ausgesetzt - eine Beobachtung, die schon Barth in den 50er Jahren machte; er registrierte unterschiedliche Temperaturen und pH-Werte an Quellen und Bohrlöchern. Viele Solfataren führen freie Schwefelsäure und sind daher extrem sauer. Laut Barth erbrachte eine Tiefbohrung hochalkalisches Wasser mit einem pH-Wert von 9,8 und einer Temperatur von 260°C. Arnórsson stellte demgegenüber bei mehreren anderen Tiefbohrungen - sie wurden neben den S-N streichenden Verwerfungen bis auf 1312 m abgeteuft - pH-Werte zwischen 7,2 und 7,4 fest.

Eines der ehrgeizigsten Projekte zur Energiegewinnung aus Erdwärme entstand an der Krafla unweit des Myvatn. Es ist auf 60 MW ausgerichtet. Tiefbohrungen fördern hochgespannten, überhitzten Dampf für das Kraftwerk. Seit den vulkanischen Ereignissen von 1975-84 ist jedoch die Dampftätigkeit stark zurückgegangen. Eine geringe Mineralisation des Wassers und ein pH-Wert von 6,8 sind charakteristisch für die Bohrlöcher beim Námafjall und an der Krafla (Arnórsson 1977).

Auch das nordöstlich des Myvatn-See gelegene Gebiet der Leirhnjúkur-Spalte erlebte in den letzten Jahren starke vulkantektonische Aktivitäten. Neben einigen wenigen Erdbeben ereigneten sich abwechselnd Hebungen und Senkungen des Bodens bis in den Meterbereich sowie beachtliche Lavaförderungen. Die ersten grundlegenden geodätischen Untersuchungen über die Drift-Rate führte hier Niemczyk (1943) durch. Das von ihm aufgebaute trigonometrische Punktnetz und durchgeführte Präzisionsnivellement mit Hilfe des damals aufgestellten Basis-Messverfahrens erlaubten es, die Veränderungen, d.h. die Hebungs- und Senkungstendenzen sowie die Dehnungen und Zerrungen innerhalb des Spaltensystems während der letzten 50 Jahre zu verfolgen. Neuere Messungen wurden u.a. von Gerke et al., Möller und Spickernagel durchgeführt und 1972 bzw. 1980 veröffentlicht. Ihre Auswertungen ergaben zwischen 1965-1971 eine Kompression von 0,5 m, von 1971-1975 eine Dehnung von 0,3 m und während der starken vulkanischen Aktivitäten von 1975-1977 sogar eine Dehnung von 2,8 m auf 3 km. Insgesamt betrug im Zeitabschnitt von 1971-1975 die Dehnung in der ca. 90 km breiten neo-vulkanischen Zone weniger als 0,5 m.

All diese Thermalgebiete, wie auch das weiter nördlich der Krafla gelegene Threistareykir, werden ausnahmslos von der aktiven Vulkanzone des nördlichen Island geprägt. (Abb. 31, 32, 39).



Tab. 4: Darstellung der Wasseranalysen aus den Hochtemperatur - Gebieten in Säulendiagrammen

5.2 Mineralquellen und Sauerlinge in Niedrigtemperatur- Gebieten - hier Halbinsel Snaefellsnes

Die Halbinsel Snaefellsnes wird von einer ca. 70 km langen von ESE nach WNW streichenden, einst aktiven Vulkanzone durchzogen. Sie reicht vom Fjord Kolgrafafjörður im Norden bis in den Bereich des Tals Nordurdalur, wo sie sich mit dem westlichen Zweig der derzeit aktiven neo-vulkanischen Zone, d.h. mit der Reykjanes-Langjökull Zone, vereinigt. Schäfer (1972) und Tessensohn (1976) vermuten auf Snaefellsnes eine Transform-Fault, die jedoch seismisch nicht belegt werden kann. Eine Folge des einst aktiven Vulkanismus auf Snaefellsnes, der letzte Ausbruch war vor ca. 1000 Jahren, sind die zahlreichen CO₂-haltigen Quellen.

Die Quellen sind an die Bruchzone, d.h. an die E-W und ESE-WNW verlaufenden Spalten, Gänge, Brüche und Verwerfungen (Karte 4) gebunden. Neben vereinzelten sauren Intrusionen mit Rhyolith, Gabbro und Granophyr baut sich die Halbinsel überwiegend aus alkalibasaltischen Gesteinsserien auf.

Auf das Vorkommen kohlen säurehaltiger Quellen auf Snaefellsnes wurde schon in den Jahren 1752/53 und 1757 von Eggert Olafsson und Bjarni Pálsson hingewiesen. Erste Untersuchungen führte Sonder (1941) durch. In seiner Studie erwähnt er 21 Lokalstellen; die meisten sind jedoch heute nicht mehr auffindbar, da die Quellen versiegten. Nach ihm wurden 3 Typen unterschieden: azendierende Thermen, azendierende Kohlen säuerlinge und oberflächliche, durch Mofetten erzeugte Kohlen säuerlinge. Höll, Münzer führten ihre ersten Untersuchungen an kohlen säurehaltigen Quellen, auch Ölkeldur genannt, 1973 durch, wobei besonders der Grad der Mineralisierung und die gesundheitliche Bedeutung behandelt wurden. In einer weiteren Arbeit beschäftigen sich Arnórsson und Barnes (1983) mit der Verteilung von Kohlendioxid-Wässern auf Snaefellsnes vor allem nach ihren Isotopen-Werten.

Sie weisen darauf hin, daß die Schüttung der Quellen unterhalb von 10 l/s liegen dürfte, während sich der CO₂-Gehalt zwischen 300 und 4000 mg/kg bewegt. Sonder führt bei einer Quelle in der Lokalität Bjarnarfoss einen CO₂-Gehalt von 873 mg/kg an, Höll, Münzer (1975) mehr als 600 mg/kg. In einer Arbeit von Hjartarson (1979) wird bei Lysuhóll von 1500 mg CO₂/kg gesprochen, eine weitere Ölkelda ohne nähere Bezeichnung (Ölkelda auf Snaefellsnes) soll sogar einen Gehalt von 4100 mg CO₂/kg haben.

Nach neueren Überlegungen (Arnórsson 1983) werden die Quellen auf Snaefellsnes in 3 Gruppen auf der Basis ihrer Temperaturen unterteilt, und zwar in Thermalwässer, kalte Wässer mit konstanter Temperatur und Wässer mit jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen. Interessanterweise ergaben die eigenen Untersuchungen, daß die Sauerlinge mit konstanter Temperatur meist einen höheren Anteil an festen gelösten Stoffen besitzen als die Thermalwässer, was auch die Arbeiten von Arnórsson und Barnes bestätigen.

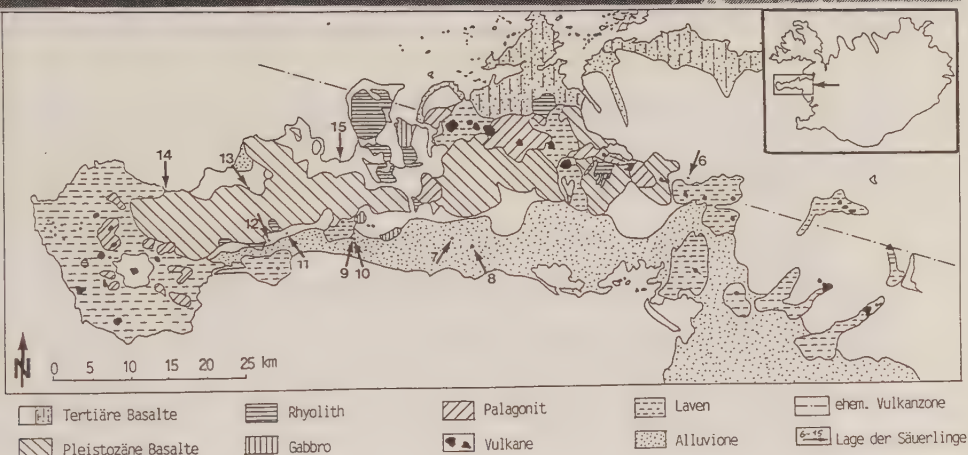
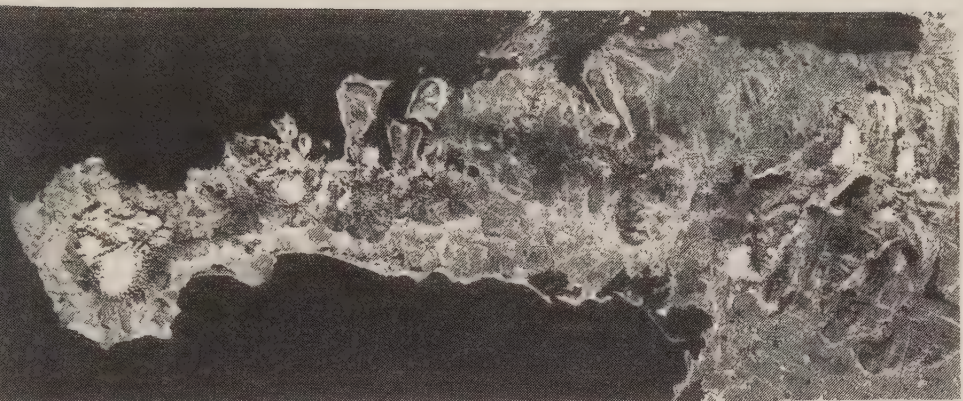


Abb. 45 : Ausschnitt der Landsat-MSS Szene (ID 1651-14091 vom 31.7.1979, Kanal 7) mit der Halbinsel Snæfellsnes und geologischer Interpretationsskizze. Die Lage der untersuchten Säuerlinge ist mit den Nummern 6 - 15 angegeben. (abgeändert n. Sigurdsson (1970))

Probe Nr. 6 = Ölkelda Raudamelur
 Probe Nr. 7 = Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda
 Probe Nr. 8 = Ölkelda Brautarholt
 Probe Nr. 9 = Ölkelda Lysuhöll (Schwimmbad)
 Probe Nr. 10 = Ölkelda Lysuhöll (Bohrstelle)

Probe Nr. 11 = Ölkelda Bjarnarfosskot
 Probe Nr. 12 = Ölkelda Hraunhafnardalur
 Probe Nr. 13 = Ölkelda Vallnahnúkur
 Probe Nr. 14 = Ölkelda Ólafsvík
 Probe Nr. 15 = Ölkelda Grundarfjörður

Nach Jóhannesson (1982) und eigenen Beobachtungen sind die kalten und auch die Thermal-Kohlensäuerlinge an Verwerfungen gebunden.

Bei den Quellgasen spielt das Kohlendioxid eine besondere Rolle. Auf mitteleuropäische Verhältnisse bezogen, ist dieses Gas Zeichen einer gewissen Restaktivität von einst aktiven oder unter der Erdoberfläche steckengebliebenen Vulkanherden. Soweit Island betroffen ist, wo große Gebiete von neogenen Magmenkörpern unterlagert sind, fällt auf, daß nur eine relativ geringe Anzahl von reinen Säuerlingen vorkommt. Sie konzentrieren sich auf drei Gebiete, d.h. auf die Halbinsel Snaefellsnes, auf das Hengill-Gebiet und in Südost-Island nahe der Ortschaft Höfn.

Folgende Kohlensäuerlinge wurden auf der Halbinsel Snaefellsnes einer Analyse und näheren Untersuchung der während der letzten Jahre eingetretenen Änderungen im Mineralstoff-Gehalt unterzogen.

Es handelt sich um:

- a) - Ölkelda Raudamelur: (Probe Nr. 6)
Akratepege vom Typ eines Natrium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Chlorid-Wassers
- b) - Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda: (Probe Nr. 7)
Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser
- c) - Ölkelda Brautarholt: (Probe Nr. 8)
jodhaltiges Calcium-Natrium-Chlorid-Wasser
- d) - Ölkelda Lysuhóll auf dem Gelände des früheren Schwimmbads (Probe Nr. 9)
- Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser
- e) - Lysuhóll, Bohrstelle: (Probe Nr. 10)
Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser
- f) - Ölkelda Bjarnarfosskot: (Probe Nr. 11)
jodhaltiges Magnesium-Calcium-Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser
- g) - Ölkelda Hraunhafnardalur: (Probe Nr. 12)
eisenhaltiges Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser
- h) - Ölkelda Vallnahnúkur: (Probe Nr. 13)
Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser
- i) - Ölkelda Olafsvík: (Probe Nr. 14)
Akratepege vom Typ eines Natrium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wassers
- j) - Ölkelda Grundarfjörður: (Probe Nr. 15)
Akratepege vom Typ eines eisenhaltigen Magnesium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wassers

Die unter a-g aufgeführten Lokalitäten liegen auf der Südseite, die unter h-j im Norden der Halbinsel Snaefellsnes.

Die Ergebnisse der Wasseranalysen sind in einem Piper-Diagramm (Tab. 9) zusammengefaßt.

5.2.1 Bestimmung des Begriffs "Ölkelda"

Die isländische Bezeichnung Ölkelda (Ölkeldur) geht auf die Quelle am Bauernhof Ölkelda, Stadarsveit auf Snaefellsnes, zurück und bedeutet wegen des Geschmacks soviel wie Bierquelle.

Ähnliche Quelltypen wurden im vergangenen Jahrhundert im oberen Neckartal (südliches Württemberg) Branntweinquellen genannt (Carlé 1980).

Da es bislang an einer genauen Definition des isländischen Begriffs "Ölkelda" fehlte, wurde diese Quellart auf ihre typischen Eigenschaften hin untersucht.

Es stellte sich heraus, daß alle Ölkelda-Wässer einen hohen Kohlensäuregehalt aufweisen. Es handelt sich also um Sauerlinge, deren Gehalt in Island eventuell auch geringfügig unter der Mindestgrenze von 1000 mg CO₂/kg liegen kann (Tab. 8).

Der pH-Wert der Ölkeldur liegt im schwach sauren Bereich.

Neben einigen wenigen mineralarmen Ölkeldur wurden vor allem Quellen mit einem Gehalt von bis zu 4216 mg/kg gelöster fester Stoffe gefunden. Der Charakter dieser Quellen ist nicht von der Temperatur des Wassers abhängig. Im allgemeinen wurden Temperaturen zwischen 10°C und 20°C, im Extremfall sogar 58°C gemessen.

Die Ölkeldur kommen außerhalb der neo-vulkanischen, d.h. der aktiven Vulkanzone des Landes vor, so vor allem auf Snaefellsnes.

Weitere Quellen befinden sich, wiederum außerhalb der aktiven Vulkanzone, in den tertiären Flutbasalten Südost-Islands. Eine Ausnahme dürften die Sauerlinge im Hengill-Gebiet bilden.

5.2.2 Ölkelda Raudamelur, Snaefellsnes (Probe Nr. 6)

Die Ölkelda Raudamelur, auch Raudamelsölkelda genannt, ergibt nach Höll, Münzer (1975) nicht den erwarteten hohen Mineralgehalt. Sie ist wohl vor allem wegen ihres CO_2 - Austritts bekannt, dem stärksten aller untersuchten Proben. Sonder erwähnt: "die Gasblasen sind so auffällig, daß man diese Quelle schon als den schönsten und bedeutendsten Kohlensäuerling von Island bezeichnet hat". Ähnlich wie bei den eigenen Beobachtungen stiegen auch 1940 aus dem klaren Oberflächenwasser reine Kohlensäureblasen auf. Eine Analyse von Helm (1940) zeigt wie die Untersuchungen Höll, Münzer einen geringen Anteil an Mineralsalzen sowie gleichbleibende pH-Werte.

Die Ölkelda Raudamelur liegt im Südosten der Halbinsel, in einer nicht mehr aktiven, ESE-WNW ziehenden Vulkanzone mit Kratern, Schlackenkegeln, Lavadecken, Aschefeldern und Palagonitgestein. Beiderseits der Zone stehen pleistozäne Basalte, d.h. Old Grey Basalts, und tertiäre Flutbasalte an. Etwa 7 km nordwestlich der Ölkelda beginnen die ersten sauren Gesteinsserien, die Rhyolithe.

Im Gegensatz zu den meisten anderen in Alluvionen aufgefundenen Säuerlingen befindet sich die Ölkelda Raudamelur direkt auf dem ESE-WNW streichenden Kluftsystem der ehemaligen Snaefellsnes-Vulkanzone und auf einer fast senkrecht zu ihm ausgerichteten SSW-NNE Klüftungsschar (s. auch Abb. 22,45).

Zu erreichen ist die Stelle über die südliche Küstenstraße, die durch die aus dem Eldborg-Krater ausgeflossenen Laven und die Raudahálshraun führt. Ca. 3 km nach Überquerung des Flusses Haffjardará geht eine kleine Straße nach Norden am Schlackenkrater Raudamelskúlur vorbei und endet nach wenigen Kilometern in der Nähe der Ölkelda (Abb. 45). Bei der Probeentnahme floß das Wasser unaufhörlich aus einem 2 m x 2 m großen Quellbereich mit einer Temperatur von 8° C. Bemerkenswert war der leicht saure bis bittere Geschmack des Wassers.

Beurteilung der Probe Nr. 6, Ölkelda Raudamelur, Snaefellsnes

Bei diesem Wasser handelt es sich um eine typische Akratopege, da der Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen gering ist und nur 117,8 mg/kg beträgt. Natrium ist mit 24,0 mg/kg schwach vertreten, relativ niedrig ist auch der Hydrogencarbonat-Gehalt mit 48,8 mg/kg. Sulfat und Chlorid kommen nur in geringen Mengen vor. Der Kohlensäure-Gehalt ergab bei der Labormessung >250 mg CO_2 /kg; eine Messung vor Ort dürfte jedoch wesentlich höhere Werte aufzeigen. Die Analyse weist das Wasser als ein Natrium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Chlorid-Wasser aus.

Entnahmestelle: Ölkelda Raudamelur, Snaefellsnes,
Probe Nr. 6

vom: 01.09.1973

pH-Wert: 5,1

Wassertemperatur: 8°C

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	24,0	1,044	71,95
Kalium (K ⁺)	0,5	0,013	0,90
Calcium (Ca ²⁺)	0,0	0,000	0,00
Magnesium (Mg ²⁺)	4,7	0,386	26,60
Eisen (Fe ²⁺)	0,2	0,007	0,48
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,02	0,001	0,07
<u>Summe:</u>	29,42	1,451	100,00

<u>Anionen:</u>			
Chlorid (Cl ⁻)	10,6	0,299	20,65
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	15,5	0,323	22,30
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	48,8	0,800	55,25
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,000	0,000	0,00
Hydrogen- arsenat (HASO ₄ ²⁻)	0,01	0,000	0,00
Fluorid (F ⁻)	0,5	0,026	1,80
<u>Summe:</u>	75,41	1,448	100,00

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Bestandteile</u>		
Kieselsäure,meta(H ₂ SiO ₃)	13,0	0,167
Borsäure,meta(BHO ₂)	0,0	0,00

Summe der gelösten
festen Stoffe: 117,83

Gasförmige Bestandteile:
 Freies Kohlendioxid,
 (CO₂) mg/kg (Heyer-Versuch) >250,0
 Freier Schwefelwasserstoff
 (H₂S) mg/kg 0,0

Charakteristik: Akratopege vom Typ eines Natrium-Magnesium-
 Hydrogencarbonat-Sulfat-Chlorid-Wassers

5.2.3 Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda. Stadarsveit.
Snaefellsnes (Probe Nr. 7)

Wohl einer der bekanntesten isländischen Sauerlinge ist die Quelle bei dem Bauernhof Ölkelda im Gebiet von Stadarsveit, auf der Südseite der Halbinsel Snaefellsnes. Sie wird bereits im Jahre 1757 von Eggert Olafsson und Bjarni Pálsson erwähnt. Rund 13 km westlich von Vegamót, einer kleinen Raststätte und Tankstelle, biegt ein Weg von der Küstenstraße nach Norden ab. Er endet nach ca. 1,5 km am Gehöft Ölkelda. Die Quelle ist nur wenige Meter von dem neuen Wohntrakt des Bauernhofes entfernt (Abb. 46,47).

Seit der letzten Probenuntersuchung wurden außer einigen neu verlegten Gartenplatten keine Veränderungen im Quellbereich festgestellt. Die Quelle auf dem leicht nach Süden abfallenden Wiesengrund ist mit Steinen eingefast, das Quelloch hat eine Fläche von 40 x 40 cm und eine Tiefe von 60 cm. Das wohlschmeckende, aber stark bittere, klare Wasser wird täglich von den Bauern unverdünnt als Trinkwasser benutzt. Eine kleine elektrische Abfüllpumpe bewahrt es vor Verschmutzung bei der Entnahme.

Der CO₂-Austritt in Form von aufsteigenden Gasblasen ist mäßig, die Wassertemperatur beträgt 8°C. Die Schüttung ist nicht erheblich, so können bis zu 250 l in 2-3 Stunden entnommen werden. Nach einer Wartezeit von 8-10 Stunden füllt sich das Quelloch wieder auf (Abb. 47).

Beurteilung der Probe Nr. 7, Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda,
Stadarsveit, Snaefellsnes

Die Analyse bestätigt, daß es sich hier um ein Mineral- und Heilwasser mit einem hohen Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen von 3845,3 mg/kg handelt; der untere Grenzwert für Mineralwasser wird um das 3,8 fache überschritten. Im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegt der Wert sogar um das 43,3 fache höher. Die Mineralstoffbeschaffenheit entspricht der Qualität des Fachinger Wassers oder des Pyrmonter Sauerlings.



Abb. 46: Ausschnitt der Luftaufnahme mit Lage der Sauerlinge ölkelda beim Bauernhof ölkelda (Probe Nr. 7) und ölkelda Brautarholt (Probe Nr. 8) auf der Südseite der Halbinsel Snaefellsnes
Luftaufnahme vom 21.7.79, F-mýnd, Nr. 4615 (Freigabe durch Landmælingar Islands)



Abb. 47: Probenentnahme am Sauerling ölkelda beim Bauernhof ölkelda (Probe Nr.7) und Detailaufnahme der Quelle

Entnahmestelle: Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda, Stadarsveit,
Snaefellsnes, Probe Nr. 7

vom: 26.08.1986

pH-Wert: 6,1

Wassertemperatur: 8,0°C

Schüttung: bis zu 250 Liter in 2-3 Stunden

CO₂-Gehalt: nicht gemessen; mäßiger Austritt von Gas-
blasen; (1973: >600 mg/kg n. Heyer-Versuch)

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>		Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium	(Na ⁺)	630,0	27,403	57,5
Kalium	(K ⁺)	25,0	0,639	1,3
Ammonium	(NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,0
Magnesium	(Mg ²⁺)	62,02	5,102	10,7
Calcium	(Ca ²⁺)	284,0	14,172	29,8
Mangan	(Mn ²⁺)	0,250	0,009	0,0
Eisen	(Fe ²⁺)	8,600	0,308	0,7
<u>Summe:</u>		1009,87	47,633	100,0

Anionen:

Fluorid	(F ⁻)	0,90	0,047	0,1
Chlorid	(Cl ⁻)	238,2	6,719	14,1
Bromid	(Br ⁻)	0,40	0,005	0,0
Jodid	(J ⁻)	0,32	0,003	0,0
Hydrogen- sulfid	(HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat	(SO ₄ ²⁻)	30,0	0,625	1,3
Nitrit	(NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat	(NO ₃ ⁻)	1,5	0,024	0,1
Hydrogen- phosphat	(HPO ₄ ²⁻)	0,15	0,003	0,0
Hydrogen- carbonat	(HCO ₃ ⁻)	2447,0	40,104	84,4
<u>Summe:</u>		2718,47	47,530	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>		3728,34		

Millimol
mmol

Undissoziierte Stoffe:

Kieselsäure, meta(H₂SiO₃) 117,0 1,498

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 3845,3 mg/kg

Gesamtrückstand: 2567,0 mg/kg

Charakteristik: Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser

Es handelt sich um ein Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser. Möglicherweise ist es sogar als reiner Säuerling einzustufen, da der Gehalt an freiem Kohlendioxid nach Heyer über 600,0 mg CO₂/kg (Höll, Münzer 1975) liegt.

Bei den Kationen führen Natrium (630,0 mg Na⁺/kg bzw. 57,5 mval % = c(eq)%) und Calcium (284,0 mg Ca²⁺/kg); Eisen, Kalium und Magnesium fallen demgegenüber stark zurück. Bei den Anionen liegt Hydrogencarbonat (2447,0 mg HCO₃⁻/kg bzw. 84,4 mval % = c(eq)%) an der Spitze, gefolgt von Chlorid (238,2 mg Cl⁻/kg). Der nicht unbeträchtliche Jod-Gehalt (0,32 mg J-/kg) ist positiv zu bewerten. Störende oder schädliche Substanzen wie Arsen, Schwefelwasserstoff oder größere Fluoridmengen sind nicht vorhanden.

Die Analysenwerte von 1973 und 1986 bewegen sich in etwa den gleichen Größenordnungen. Die Untersuchungen beider Jahre haben gezeigt, daß dieses Wasser von besonderer Reinheit ist und die Anforderungen an Mineralwasser erfüllt (Tab. 8).

5.2.4 Ölkelda Brautarholt, Stadarsveit, Snaefellsnes
(Probe Nr. 8)

Die Ölkelda Brautarholt hat bislang nicht die Beachtung gefunden, die ihr eigentlich zukommen müßte, denn sie wird nicht genutzt. Sie liegt einige hundert Meter östlich des Hofes Brautarholt, im Bereich ausgedehnter Alluvione auf der Südseite von Snaefellsnes. Ein kleiner Feldweg biegt vor dem Bach Vidralaekur von der Küstenstraße nach Süden ab und führt ca. 500 m weit zu einem Wiesenareal. Der Quellbereich, der sich auf der Südseite einer kleinen, ca. 5 m hohen Erhöhung befindet, bedeckt eine Fläche von etwa 2 m x 2 m (Abb. 48).

Ein Quelloch im eigentlichen Sinne konnte nicht gefunden werden, da die Austrittsstelle mit Moorsubstanzen und Pflanzenresten teilweise zugefüllt war. Aus vielen kleinen Löchern fließt 18° C warmes Wasser langsam aus und verteilt sich nach Süden hin in kleinen Rinnsalen über die Oberfläche. Eine Schüttung konnte daher nicht gemessen werden. Leichte Erschütterungen am Boden führten zu einem erhöhten Gasaustritt, aller Wahrscheinlichkeit nach von CO₂.

Der für eine Ölkelda typische Geschmack von leicht sauer bis bitter kennzeichnet das Wasser.



Abb. 48:

Probenentnahmestelle des Sauerlings Ölkelda Brautarholt (Probe Nr. 8) am Rand ausgedehnter Alluvione auf der Südseite der Halbinsel Snaefellsnes. Die Aufnahme mit Blick nach Westen läßt im Hintergrund die Bauernhöfe von Stadarsveit (Probe Nr. 7) erkennen.

Entnahmestelle: Ölkelda Brautarholt, Stadarsveit, Snaefellsnes
Probe Nr. 8

vom: 26.08.1986

pH-Wert: 6,8
Wassertemperatur: 18,0° C
Schüttung: nicht meßbar, da weit verteilter Ablauf
CO₂-Gehalt: nicht gemessen; erhöhter Gasaustritt bei Erschütterung

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	750,0	32,623	47,1
Kalium (K ⁺)	15,0	0,384	0,6
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	23,7	1,950	2,8
Calcium (Ca ²⁺)	654,0	32,635	47,2
Mangan (Mn ²⁺)	0,750	0,027	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	44,000	1,576	2,3
<u>Summe:</u>	1487,45	69,195	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,45	0,024	0,0
Chlorid (Cl ⁻)	2163,0	61,010	88,3
Bromid (Br ⁻)	0,00	0,000	0,0
Jodid (J ⁻)	2,75	0,022	0,0
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	215,8	4,493	6,5
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	5,0	0,081	0,1
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	213,6	3,501	5,1
<u>Summe:</u>	2600,60	69,131	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	4088,05		

Millimol
mmol

Undissoziierte Stoffe:

Kieselsäure,meta (H₂SiO₃) 128,5 1,645

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 4216,6 mg/kg

Gesamtrückstand: 4128,0 mg/kg

Charakteristiki: Jodhaltiges Calcium-Natrium-Chlorid-Wasser

Beurteilung der Probe Nr. 8. Ölkelda Brautarholt.
Stadarsveit, Snaefellsnes

Diese Quelle zeichnet sich vor allen anderen untersuchten Quellen auf Snaefellsnes durch einen extrem hohen Gesamtgehalt von 4216,6 mg/kg an gelösten festen Stoffen aus. Im Vergleich zum Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegen die Werte um das 47,5 fache höher. Es handelt sich um ein jodhaltiges Calcium-Natrium-Chlorid-Wasser.

Vorherrschend sind unter den Kationen Natrium (750,0 mg Na⁺/kg bzw. 47,1 mval % = c(eq)%) und Calcium (654,0 mg Ca²⁺/kg bzw. 47,2 mval % = c(eq)%). Bedingt durch die Küstennähe (s. Probe Nr. 5) sind die Chlorid-Mengen entsprechend hoch (2163,0 mg Cl⁻/kg bzw. 88,3 mval % = c(eq)%). Der Sulfat-Gehalt (215,8 mg SO₄²⁻/kg) kann sicherlich auf den ehemals aktiven Vulkanismus auf Snaefellsnes zurückgeführt werden. Auffallend ist der beachtliche Anteil des Jods (2,75 mg J-/kg).

5.2.5 Ölkelda Lysuhóll auf dem Gelände des ehemaligen Schwimmbads, Snaefellsnes (Probe Nr. 9)

Von besonderer Bedeutung sind die beiden Probenentnahmestellen von Lysuhóll (Probe Nr. 9 und 10). Bei früheren Arbeiten wurde bereits von Höll, Münzer (1975) auf die vielversprechenden Möglichkeiten einer Nutzung hingewiesen.

Verkehrstechnisch ist Lysuhóll gut zu erreichen. Das Anwesen, bestehend aus einem Hof und einer 1972 errichteten Schule (skóli-félagsheimili), liegt nur 2 km nördlich der Küstenstraße.

Die Probenentnahmestelle Nr. 9 befindet sich dicht am Westufer des Baches Vatnsholtsá, 20 m südlich der Straße zur Schule. Das Schwimmbad wurde zwischenzeitlich abgerissen, übrig geblieben sind eine kleine Bohrzapfstelle, Rohre, eine Auffangschüssel und Reste von Betonsockeln. Auch im Jahre 1986 wurden auf dem ca. 30 m² großen Areal, bestehend aus einer mächtigen in Schichten gelagerten Kieselsinterplatte, natürliche Quellaustritte beobachtet (Abb. 49).

Die 42°C heißen Mineralwässer fließen leicht zischend - eine Folge erhöhten Austritts von CO₂ - Gas - aus vielen Löchern aus. Da diese sich in zahlreichen Rinnsalen über das flache Kieselsinter-Plateau verteilen, kann die Schüttung schätzungsweise mit kaum mehr als 1 l/sec. angegeben werden (Abb. 50). Das Thermalwasser hat einen leicht säuerlichen bis bitteren Geschmack, ist aber wohlschmeckend und typisch für eine Ölkelda.

Beurteilung der Probe Nr. 9, Ölkelda Lysuhóll auf dem Gelände des ehemaligen Schwimmbads, Snaefellsnes

Seiner Charakteristik nach ist das Wasser als ein Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser einzustufen, wenn auch im Vergleich zu der letzten Analyse geringe Änderungen in der Konzentration beobachtet wurden.

Der Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen liegt bei 2446,9 mg/kg, d.h. er ist 2,4 mal so hoch wie der für Mineralwasser festgelegte Mindestgehalt. Im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegen die Werte um das 27,6 fache höher.



Abb. 49: Ausschnitt der Luftaufnahme mit Lage der Thernalsäuerlinge Lysuhöll (ehemaliges Schwimmbad) und Lysuhöll (Bohrung) auf der Südseite der Halbinsel Snæfellsnes
Luftaufnahme vom 21.7.79, F-mýnd, Nr. 4627 (Freigabe d. Landnaelingar Islands)

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1 = Lysuhöll, ehem. Schwimmbad (Probe Nr. 9) | 4 = Bach Vatnsholtsá |
| 2 = Lysuhöll, Bohrung (Probe Nr. 10) | 5 = Lavafelder Bláfeldhraun |
| 3 = Kieselinterplatte | 6 = Schule Lysuhöll |

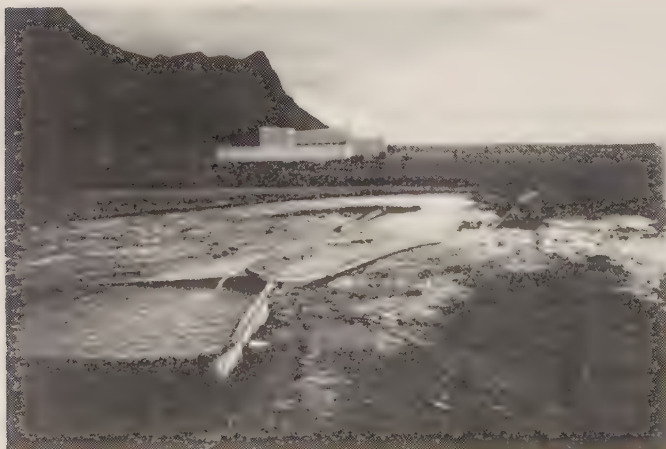


Abb. 50: Probenentnahmestelle des Thernalsäuerlings beim ehemaligen Schwimmbad von Lysuhöll (Probe Nr. 9) mit neu errichteter Schule im Bildhintergrund; Blickrichtung der Aufnahme ist nach Osten

Entnahmestelle: Ölkelda Lysuhóll auf dem Gelände des ehemaligen Schwimmbads, Snaeffellsnes, Probe Nr.9

vom: 27.08.1986

pH-Wert: 6,5

Wassertemperatur: 42,0° C

Schüttung: ca. 1 Liter pro Sekunde

CO₂-Gehalt: nicht gemessen; erhöhter Gasaustritt
(1973: > 500 mg/kg n. Heyer-Versuch)

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	600,0	26,099	91,0
Kalium (K ⁺)	28,0	0,716	2,5
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	15,2	1,250	4,4
Calcium (Ca ²⁺)	8,5	0,424	1,5
Mangan (Mn ²⁺)	0,020	0,001	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	5,550	0,199	0,7
<u>Summe:</u>	657,27	28,689	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	3,20	0,168	0,6
Chlorid (Cl ⁻)	106,3	2,998	10,4
Bromid (Br ⁻)	0,00	0,000	0,0
Jodid (J ⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	8,0	0,167	0,6
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,0	0,000	0,0
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,12	0,003	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	1562,0	25,599	88,5
<u>Summe:</u>	1679,62	28,935	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	2336,89		

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Stoffe:</u>		
Kieselsäure,meta (H ₂ SiO ₃)	110,0	1,409

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 2446,9 mg/kg

Charakteristik: Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser

Bei den Kationen überwiegt Natrium (600,0 mg Na^+/kg) bzw. 91,0 mval % = $c(\text{eq})\%$, während Magnesium (15,2 mg Mg^{2+}/kg) und Calcium (8,5 mg Ca^{2+}/kg) zurücktreten. Bei den Anionen ist auch 1986 wieder Hydrogencarbonat (1562,0 mg HCO_3^-/kg bzw. 88,5 mval % = $c(\text{eq})\%$) vorherrschend. Mit 3,2 mg liegt der Fluorid-Gehalt unter dem Grenzwert von 5 mg/kg, von dem ab Gesundheitsschäden möglich sind.

Störende Bestandteile wie Phosphat und Nitrat sind in der Analyse nicht festgestellt worden.

Da die Proben Nr. 9 und 10 dem gleichen Einzugsbereich entnommen wurden und ähnliche Eigenschaften aufweisen, werden die Anwendungsgebiete unter Probe Nr. 10 aufgeführt.

5.2.6 Ölkelda Lysuhóll, Bohrstelle, Snaefellsnes (Probe Nr. 10)

Die Probe wurde dem Auffangbecken der Bohrstelle von Lysuhóll entnommen. Das verrohrte Bohrloch liegt 200 m nordwestlich der Brücke, auf dem Westufer des Baches Vatnsholtsá. Von dort führt eine freiliegende Rohrleitung in ein ca. 1 m² großes Auffangbecken (Abb. 51, 52), aus dem Thermalwasser über das allmählich abfallende Gelände zu der etwa 800 m entfernten Schule und dem Schwimmbad geleitet wird.

Das leicht nach Norden ansteigende Gelände wird von einer mächtigen, aufgebrochenen und verwitterten, hellen Sinterplatte beherrscht, auf der mehrere versiegte Quellaustritte liegen. Sonder erwähnt 1941 noch das Vorkommen einzelner Quellen mit Temperaturen bis zu max. 54° C. Nach seinen Bestimmungen handelte es sich bei den aufsteigenden Gasen um reine Kohlensäure. Er klassifiziert das sauer bis bitter schmeckende Wasser mit einem pH-Wert von 6,8 als aufsteigenden Kohlensäuerling; es wurde in der Nähe eines liparitischen Lavaaufstoßes im nordwestlichen Teil des Feldes entnommen.

Eigene Beobachtungen ergaben, daß das 58° C heiße, klare Mineralwasser der Bohrstelle einen angenehmen, aber nicht so bitteren Geschmack wie die Probe Nr. 9 aufweist. Mit 7,1 liegt der pH-Wert im neutralen Bereich. Infolge des starken Zuflusses konnte der Austritt von CO_2 -Gasen nicht im Auffangbecken festgestellt werden. Die Laboruntersuchung von 1973 ließ aber auf einen Kohlensäuregehalt (Heyer-Versuch) von weit mehr als 500 mg CO_2/kg schließen, so daß es sich um einen Sauerling handeln dürfte. Die Schüttung wurde 1986 mit rund 100 l/min gemessen.

Die etwa im Jahr 1971 errichtete Bohrstelle ist heute von einem ca. 5-10 cm dicken Kiesel-sinterbelag umgeben (Abb. 52) - eine Folge des beachtlichen Kiesel-säure-Gehalts des Wassers (1973: 325,0 mg $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$ und 1986: 233,0 mg $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$).

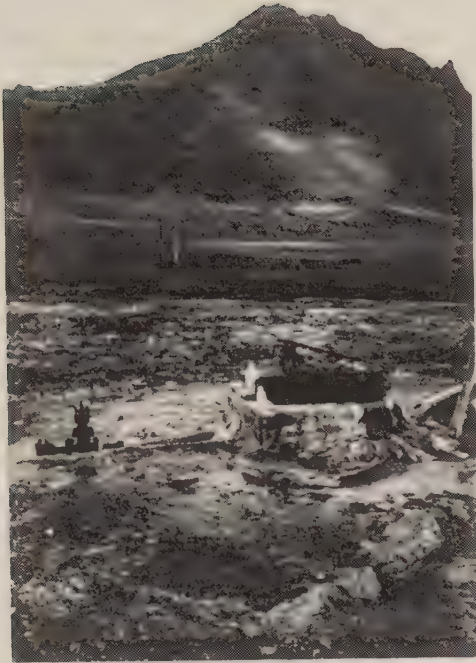


Abb. 51: Bohrstelle und Auffangbecken bei der Entnahmestelle Lýshóll (Bohrstelle), Probe Nr. 10, mit den tertiären Basalten des Berges Lýshyma (647 m) im Bildhintergrund



Abb. 52: Nahaufnahme der Entnahmestelle des Thernalsauerlings Lýshóll, Bohrung (Probe Nr. 10) mit dem durch Kieselsinter stark verkrusteten Auffangbecken

Entnahmestelle: Ölkelda Lysuhóll, Bohrstelle, Snaefellsnes,
Probe Nr. 10

vom: 27.08.1986

pH-Wert: 7,1
Wassertemperatur: 58,0° C
Schüttung: ca. 100 Liter pro Minute
CO₂-Gehalt: nicht gemessen; (1973: >500 mg/kg n. Heyer-Versuch)

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>		Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium	(Na ⁺)	640,0	27,838	73,6
Kalium	(K ⁺)	30,0	0,767	2,0
Ammonium	(NH ₄ ⁺)	0,12	0,007	0,0
Magnesium	(Mg ²⁺)	24,32	2,001	5,3
Calcium	(Ca ²⁺)	142,0	7,086	18,7
Mangan	(Mn ²⁺)	0,000	0,000	0,0
Eisen	(Fe ²⁺)	3,300	0,118	0,3
<u>Summe:</u>		839,74	37,817	100,0

Anionen:

Fluorid	(F ⁻)	3,60	0,189	0,5
Chlorid	(Cl ⁻)	74,5	2,101	5,6
Bromid	(Br ⁻)	1,33	0,017	0,0
Jodid	(J ⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- sulfid	(HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat	(SO ₄ ²⁻)	43,2	0,899	2,4
Nitrit	(NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat	(NO ₃ ⁻)	0,5	0,008	0,0
Hydrogen- phosphat	(HPO ₄ ²⁻)	0,15	0,003	0,0
Hydrogen- carbonat	(HCO ₃ ⁻)	2111,3	34,602	91,5
<u>Summe:</u>		2234,58	37,819	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>		3074,32		

	Millimol mmol
<u>Undissoziierte Stoffe:</u>	
Kieselsäure, meta (H ₂ SiO ₃)	233,0
	2,984

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 3307,3 mg/kg

Gesamtrückstand: 1578,0 mg/kg

(Glührückstand)

Charakteristik: Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser

Beurteilung der Probe Nr. 10, Ölkelda Lysuhóll, Bohrstelle, Snaefellsnes, mit gleichzeitiger Berücksichtigung der Probe Nr. 9

Das Ölkelda-Wasser der Bohrstelle Lysuhóll ist ein reichhaltiges Mineralwasser mit einem Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen von 3307,3 mg/kg; er ist 3,3 mal so hoch wie der für Mineralwasser festgesetzte Mindestgehalt. Im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegen die Werte um das 37,2 fache höher.

Von seiner Beschaffenheit her ist es ein Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser. Natrium (640,0 mg Na⁺/kg bzw. 73,6 mval % = c(eq)%) und Hydrogencarbonat (2111,3 mg HCO₃⁻/kg bzw. 91,5 mval % = c(eq)%) sind am stärksten vertreten.

Bereits im Jahre 1973 wurde festgestellt, daß es sich hier um ein Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwasser handelt. Mit 2449,38 mg/kg Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen war dieser Wert niedriger als die Analysendaten von 1986. Ferner zeigte sich eine geringere Konzentration von Natrium und Hydrogencarbonat in Milligramm. Während ein optimaler Fluorid-Gehalt von 1,4 mg/kg 1973 analysiert wurde, ergaben die Werte 1986 einen wesentlich stärkeren Fluorid-Anteil (3,6 mg/kg).

Weiterhin zeigten schon 1973 die Laboruntersuchungen eindeutig, daß es sich um einen Thermalsäuerling handelt. Freies Kohlendioxid wurde mit >500 mg/kg (Heyer-Versuch) angegeben.

Da auch die Probe Nr. 9 demselben Bereich entnommen wurde und es sich in beiden Fällen um hochwertige Natrium-Hydrogencarbonat-Thermalwässer handelt, wird sie in gleicher Weise beurteilt wie die Probe Nr. 10.

5.2.7 Ölkelda Bjarnarfosskot, Snaefellsnes, Probe Nr. 11

Das ca. 100 x 50 m große Quellgebiet von Bjarnarfosskot liegt am Fuß eines steilen Basaltabbruchs auf der Südseite der Halbinsel Snaefellsnes. Nach Süden vorgelagert zieht sich ein Saum von Kiesen und Sanden bis zur wenige Kilometer entfernten Küste, der bis auf den schmalen vegetationslosen Küstenstreifen mit ausgedehnten sumpfigen Wiesen bedeckt ist.

Untersuchungen zeigen, daß dieser 30 m - 50 m steile Basaltabbruch in enger Beziehung zu einer SSW-NNE ziehenden Verwerfung steht. Nach Jóhannesson (1982) und eigenen Beobachtungen folgen die Säuerlinge auf Snaefellsnes den Verwerfungen oder Verwerfungszonen. Mehrere Säuerlinge, durch rostrote Eisenoxid-Ausscheidungen erkennbar, bestätigen dies im Quellgebiet von Bjarnarfosskot (Abb. 55).

Das Quellgebiet ist relativ einfach zu erreichen. Es befindet sich 300 m nördlich der Küstenstraße, wenige Meter vor dem Basaltabbruch im Bereich des Schuttkegels. Begrenzt wird es von 2 kleinen Wasserfällen, dem Bjarnarfoss auf der Ostseite und einem weiteren bei dem Einschnitt Landakotsgil auf der Westseite (Abb. 54). Hier stehen pleistozäne Old Grey Basalte an. Wenige Kilometer nördlich der Quellen erhebt sich der Rhyolithstock Maelifell mit 565 m Höhe (Abb. 53). Auffallend ist auch hier, daß die Quellen in unmittelbarem oder mittelbarem Kontakt zu sauren Gesteinen wie Gabbros oder Rhyolithen stehen (s. Ölkeldur Lysuhóll, Proben Nr. 9, 10; Ölkelda Hraunhafnardalur, Probe Nr. 12).

Auf die große Bedeutung der Säuerlinge von Bjarnarfosskot verwiesen bereits Höll, Münzer im Jahre 1975. Unter anderem wurde hier ein hochwertiger Kohlensäuerling mit 3754,70 mg/kg gelöster fester Stoffe vom Typ eines Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wassers gefunden.

Bei der Probenentnahmestelle des Jahres 1986 handelt es sich um die größte Quelle. Ihre Tiefe wurde mit 60 cm gemessen, die Fläche beträgt 100 cm x 60 cm (Abb. 55). Sie wird charakterisiert durch eine rote Verfärbung des Abflußbereiches infolge der Ausfällung 2-wertigen Eisens. Das klare Wasser hat einen starken "Ölkelda"-Geschmack, d.h. es ist leicht sauer bis bitter, aber wohlschmeckend. Seine Temperatur beträgt 7° C. Ein regelmäßiger, jedoch geringer CO₂-Austritt in Form von aufsteigenden Gasblasen wurde beobachtet. Die Schüttung konnte nicht gemessen werden, da das Wasser auf der gesamten Breite der Ablaufrinne langsam abfließt und versickert. Sie dürfte aber mindestens 1-2 l/min betragen haben.



Abb. 53: Ausschnitt der Luftaufnahme mit den Probenstellen der Sauerlinge Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) und Ölkelda Hraunhafnardalur (Probe Nr. 12) auf der Südseite der Halbinsel Snæfellsnes
Luftaufnahme vom 21.7.79, F-mýnd, Nr. 2948, Freigabe durch Landmaelingar Islands

- | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1 = Rhyolithstock Maelifell (566 m) | 5 = Küstenstraße |
| 2 = Ölkelda Bjarnarfosskot | 6 = Straße nach Olafsvík |
| 3 = Wasserfall Bjarnarfoss | 7 = Sommerhaus |
| 4 = Ölkelda Hraunhafnardalur | 8 = tertiäre Flutbasalte |
| | 9 = Rhyolith des Berges Axlarhyrna |



Abb. 54: Probenentnahmestelle des Sauerlings Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) mit Wasserfall Bjarnarfoss (re). Die Quellaustritte liegen im Schuttbe-
reich tertiärer Basalte rechts vom Strommast bis zum Bildrand; Küsten-
straße im Vordergrund



Abb. 55: Probenentnahme am Sauerling Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11)

Entnahmestelle: Ölkelda Bjarnarfosskot, Snaefellsnes,
Probe Nr. 11

vom: 27.08.1986

pH-Wert: 6,2

Wassertemperatur: 7,0° C

Schüttung: mindestens 1-2 Liter pro Minute

CO₂-Gehalt: nicht gemessen; gering aufsteigende Gas-
blasen

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	210,0	9,134	25,6
Kalium (K ⁺)	5,5	0,141	0,4
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	170,2	14,001	39,2
Calcium (Ca ²⁺)	243,0	12,126	33,9
Mangan (Mn ²⁺)	0,600	0,022	0,1
Eisen (Fe ²⁺)	8,200	0,294	0,8
<u>Summe:</u>	637,50	35,718	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,20	0,011	0,0
Chlorid (Cl ⁻)	27,7	0,780	2,2
Bromid (Br ⁻)	0,40	0,005	0,0
Jodid (J ⁻)	4,44	0,035	0,1
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	8,0	0,167	0,5
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	1,5	0,024	0,1
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,08	0,002	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	2117,4	34,702	97,1
<u>Summe:</u>	2159,72	35,726	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	2797,22		

Millimol
mmol

Undissoziierte Stoffe:

Kieselsäure, meta (H₂SiO₃) 33,0 0,423

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 2830,2 mg/kg

Charakteristik:

Jodhaltiges Magnesium-Calcium-Natrium-
Hydrogencarbonat-Wasser

Beurteilung der Probe Nr. 11, Ölkelda Bjarnarfosskot, Snaefellsnes

Die Ölkelda Bjarnarfosskot ist nach Tab. 8 als Mineral- und Heilquelle einzustufen. Der Gesamtgehalt aller gelösten festen Stoffe beträgt 2830,2 mg/kg; im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) ist der Wert um das 31,9 fache höher.

Das Ölkelda-Wasser ist ein jodhaltiges Magnesium-Calcium-Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser.

Besonders wertvoll ist der hohe Anteil an Magnesium (170,2 mg Mg^{2+} /kg bzw. 39,2 mval % = c(eq)%) und Calcium (243,0 mg Ca^{2+} /kg bzw. 33,9 mval % = c(eq)%) bei den Kationen, während Hydrogencarbonat bei den Anionen führend ist (2117,4 mg HCO_3^- /kg bzw. 97,1 mval % = c(eq)%). Bemerkenswert ist auch der Jod-Gehalt (4,44 mg J-/kg).

Das Wasser ist von besonders reiner Beschaffenheit mit einem sehr geringen Nitrat-Gehalt.

5.2.8 Ölkelda Hraunhafnardalur, Snaefellsnes, Probe Nr.12

Die Ölkelda Hraunhafnardalur liegt auf tertiären Flutbasalten in einer Geländehöhe von 160 m über dem Meeresspiegel im südwestlichen Teil der Halbinsel Snaefellsnes. Ausläufer des Stratovulkans Snaefellsjökull (1446 m) reichen bis in die Nähe des Quelleinzugsgebietes. Wie beim Säuerling Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) liegt auch hier der Rhyolithstock Maelifell in unmittelbarer Nähe; weitere Rhyolithe stehen südwestlich der Quelle an.

Die Probenentnahmestellen Nr. 11 und Hraunhafnardalur sind maximal 3 km Luftlinie voneinander entfernt. Sie liegen nach Geländeuntersuchungen im Bereich einer WSW-ENE ziehenden und ca. 4 km langen Verwerfung.

Die Ölkelda Hraunhafnardalur ist über die Paßstraße nach Olafsvík zu erreichen. Wenige Kilometer hinter der Kreuzung mit der Straße nach Budir führt ein Feldweg nach Norden in das Tal Hraunhafnardalur bis zu einem kleinen, einige hundert Meter entfernten Sommerhaus. Nördlich davon fließt ein schmaler Bach durch einen Einschnitt in den tertiären Basalten in Richtung Budir ab. Auf seiner Nordseite befindet sich 100 m hangaufwärts das Quellgebiet (Abb. 53). Das Areal, in dem mehrere Quellen gefunden wurden, ist mit Gras bewachsen, in manchen Senken liegen kleine Flachmoore.

Die Ölkelda Hraunhafnardalur zeichnet sich durch eine intensiv rostbraune Bodenverfärbung im Abflußbereich aus, was auf den erhöhten Eisengehalt des Wassers zurückzuführen ist. Ihre Ausmaße sind 30 cm x 20 cm mit wenigen Zentimetern Tiefe. Feine Sande haben das Quelloch zugefüllt. Bei einer Entnahme von 10 Eßlöffeln pro Minute ist die Schüttung als sehr gering zu bezeichnen. Sicherlich hängt dies u.a. auch damit zusammen, daß die Entnahme in der relativ trockenen Jahreszeit, im Sommer 1986, erfolgte (s. Ölkelda Höfn, Probe Nr. 16). Ein geringfügiger CO₂-Austritt begleitete die Schüttung. Das Wasser zeigte einen intensiven Geschmack, der von sauer bis bitter reicht; pH-Wert und eine Temperatur von 7° C sprechen für eine Klassifizierung als Ölkelda.

Auch bei dieser Quelle würde es sich lohnen, durch weitere Untersuchungen festzustellen, ob die Wasserförderung gesteigert werden kann.

Entnahmestelle: Ölkelda Hraunhafnardalur, Snaefellsnes
Probe Nr. 12

vom: 27.08.1986

pH-Wert: 6,0

Wassertemperatur: 7,0° C

Schüttung: 10 Eßlöffel pro Minute

CO₂-Gehalt: nicht gemessen, geringfügiger Gasaustritt

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	380,0	16,529	79,1
Kalium (K ⁺)	14,0	0,358	1,7
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,05	0,003	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	11,0	0,905	4,3
Calcium (Ca ²⁺)	3,5	0,175	0,8
Mangan (Mn ²⁺)	0,000	0,000	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	82,000	2,937	14,0
<u>Summe:</u>	490,55	20,907	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,60	0,032	0,2
Chlorid (Cl ⁻)	21,3	0,601	2,9
Bromid (Br ⁻)	1,33	0,017	0,1
Jodid (J ⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	8,0	0,167	0,8
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	14,0	0,226	1,1
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,08	0,002	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	1205,0	19,749	95,0
<u>Summe:</u>	1250,31	20,794	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	1740,86		

Millimol
mmol

Undissoziierte Stoffe:

Kieselsäure, meta (H₂SiO₃) 160,0

2,05

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 1900,9 mg/kg

Gesamtrückstand: 1256,0 mg/kg

Charakteristik:

Eisenhaltiges Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser

Beurteilung der Probe Nr. 12. Ölkelda Hraunhafnardalur, Snaefellsnes

Das Wasser der Ölkelda Hraunhafnardalur ist ein Mineralwasser mittlerer Stärke. Sein Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen beträgt 1900,9 mg/kg. Dieser Wert liegt um das 21,4 fache höher als der Gesamtmineralstoffgehalt des Trinkwassers von Reykjavík (Probe Nr. 18). Es ist ein eisenhaltiges Natrium-Hydrogencarbonat-Wasser.

Während die Calcium-Werte (3,5 mg Ca^{2+} /kg) sehr gering sind, unterstreicht der hohe Eisengehalt (82,0 mg Fe^{2+} /kg bzw. 14,0 mval % = c(eq%)) die Bedeutung der Ölkelda. Natrium (380,0 mg Na^{+} /kg bzw. 79,1 mval % = c(eq%)) und Hydrogencarbonat (1205,0 mg HCO_3^{-} /kg bzw. 95,0 mval % = c(eq%)) heben sich stark hervor.

5.2.9 Ölkelda Vallnahnúkur, Snaefellsnes, Probe Nr. 13

Die Ölkelda Vallnahnúkur kann als der einzige Säuerling mit einem hohen Mineralgehalt (2097,2 mg/kg) auf der Nordseite der Halbinsel Snaefellsnes gelten (Höll, Münzer 1975). Zu erreichen ist die Quelle, die zwischen den Ortschaften Olafsvík und Grundarfjörður liegt, zunächst über die nördliche Küstenstraße. Ca. 4 km östlich der Abgabelung nach Budir, bei Kötluholt, fließt der Bach Holtsá in die Nehrung Máfahlíðarrif. Seinem Lauf aufwärts folgend erreicht man nach 2 km den Bergrücken Tungufell. Nach seiner Überquerung und weiteren 1,5 km westwärts befindet sich die Quelle in einer Geländehöhe von 250 m über dem Meeresspiegel am Osthang des Berges Stagfell. Tertiäre Flutbasalte bilden das Hauptgestein ihres Einzugsgebietes.

Entnahmestelle: Ölkelda Vallnahnúkur, Snaefellsnes.
Probe Nr. 13

vom: 27.08.1973
pH-Wert: 6,1
Wassertemperatur: 8° C

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	370,0	16,093	64,60
Kalium (K ⁺)	5,2	0,133	0,53
Calcium (Ca ²⁺)	102,0	5,09	20,43
Magnesium (Mg ²⁺)	43,6	3,586	14,39
Eisen (Fe ²⁺)	0,33	0,012	0,05
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,00
<u>Summe:</u>	521,13	24,914	100,00

<u>Anionen:</u>			
Chlorid (Cl ⁻)	16,3	0,460	1,85
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	12,0	0,250	1,00
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	1476,2	24,19	97,14
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,03	0,000	0,00
Hydrogen- arsenat (HAsO ₄ ²⁻)	0,000	0,000	0,00
Fluorid (F ⁻)	0,05	0,003	0,01
<u>Summe:</u>	1504,58	24,903	100,00

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Bestandteile:</u>		
Kieselsäure, meta (H ₂ SiO ₃)	71,5	0,916
Borsäure, meta (HBO ₂)	0,0	0,000

Summe der gelösten
festen Stoffe: 2097,210

Gasförmige Bestandteile:
Freies Kohlendioxid,
(CO₂) mg/kg (Heyer-Versuch) >588,0
Freier Schwefelwasser-
stoff, (H₂S) mg/kg 0,00

Charakteristik: Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser

(aus Höll, Münzer 1975)

Die Quelle hat bei einer Tiefe von 30 cm eine Fläche von 30 x 30 cm. Eine Kruste aus Kieselstein (s. Ölkeldur Lysuhóll, Proben Nr. 9, 10) umgibt den Quellbereich. Dieser Hinweis ermöglicht erst das Auffinden des Sauerlings, bei dem freies Kohlendioxid mit 588,0 mg/kg im Labor gemessen wurde (Högl, Münzer 1975). Das 8° C kalte, klare Wasser mit einem pH-Wert von 6,1 hat, wie auch die Quellen auf der Südseite der Halbinsel, einen intensiven, leicht sauren bis bitteren Mineralgeschmack.

Die Schüttung wurde mit ca. 0,5 l/min gemessen, was typisch für die natürlich ausfließenden Sauerlinge auf Snaefellsnes und im Südosten Islands ist. Nach Arnórsson und Barnes (1983) beträgt die Schüttung aller Sauerlinge keine 10 l/sec.

Beurteilung der Probe Nr. 13. Ölkelda Vallnahnúkur. Snaefellsnes

Die Ölkelda Vallnahnúkur fördert ein starkes Mineral- und Heilwasser mit 2097,2 mg/kg Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen. Im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegen die Werte um das 23,6 fache höher; es handelt sich um ein Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser (früher alkalische Quelle).

Der Gehalt an Natrium beträgt 370,0 mg Na⁺/kg bzw. 64,6 mval % = c(eq)%. Diese Ölkelda hat einen beachtlichen Gehalt an Calcium (102,0 mg Ca²⁺/kg bzw. 20,4 mval % = c(eq)%), während die Werte für Magnesium niedriger sind (43,6 mg Mg²⁺/kg). Wertvoll ist vor allem der außerordentlich hohe Gehalt an Hydrogencarbonat (1476,2 mg HCO₃⁻/kg bzw. 97,14 mval % = c(eq)%).

Günstig wirkt sich auch aus, daß Fluorid nur in sehr geringen Mengen (0,05 mg/kg) vorhanden und Arsen überhaupt nicht nachweisbar ist.

5.2.10 Ölkelda Olafsvík, Snaefellsnes, Probe Nr. 14

Im Norden der Halbinsel Snaefellsnes sind bislang Proben von drei Ölkeldur (Proben Nr. 13, 14, 15) analysiert worden. Dabei konnten die Ökelda in Olafsvík und die Ölkelda von Grundarfjörður (Probe Nr. 15) als Akratopegen, d.h. als mineralarme Quellen, eingestuft werden (Höll, Münzer 1975).

Die Untersuchungen des Jahres 1986 bestätigen dies erneut. Bei dem Quellwasser von Vallnahnúkur (Probe Nr. 13) handelt es sich dagegen um ein wertvolles Mineralwasser.

Die Ölkelda Olafsvík ist am Ostrand der Stadt zu finden, nur wenige 100 m in südöstlicher Richtung von dem Elektrizitätswerk entfernt. Sie liegt im Schuttbereich eines pleistozänen Old-Grey-Basalt-Abbruchs in leicht nach Westen hin abfallenden Wiesen (Abb. 56).

Der Säuerling mit einer Tiefe von 60 cm und einer Ausdehnung von 120 cm x 120 cm hat einen Wasserstand von 30 cm - 40 cm. Das klare Wasser ist ohne jeden Beigeschmack. Ebenso wie schon früher wurden wieder starke CO₂-Austritte im Quellsboden festgestellt.

Sonder (1941) bezeichnet diese Stelle als mofetoides Wasserloch, während Höll, Münzer das Wasser als Säuerling einstufen, nachdem ein pH-Wert von 4,75 und ein Wert von freiem Kohlendioxid mit >300 mg/kg im Labor ermittelt wurden.

Eine Schüttung konnte in diesem 9° C kalten Wasserloch nicht beobachtet werden (Abb. 57).

Beurteilung der Probe Nr. 14, Ölkelda Olafsvík, Snaefellsnes

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von 1973 wurde 1986 nur eine relativ geringe Menge an Sulfat (4,0 mg SO₄²⁻/kg statt 13,5 mg SO₄²⁻/kg) festgestellt. Aufgrund des Natrium-Gehalts (1986 = 19,0 mg Na⁺/kg) ist das Wasser als "natriumarm" bei einem Grenzwert von 20 mg/kg anzusehen (Tab. 8). Die Mengen von Calcium und Magnesium sind minimal und auch der Hydrogencarbonat-Gehalt (54,9 mg HCO₃⁻/kg) entspricht nicht den Erwartungen.

Dieser Säuerling kann - wie schon 1973 - daher nicht als Mineralwasser eingestuft werden.



Abb. 56: Lage des Sauerlings Ölkelda in Olafsvík (Probe Nr. 14) auf der Nordseite der Halbinsel Snæfellsnes mit tertiärem Flutbasaltabbruch im Hintergrund



Abb. 57: Probenentnahme am Sauerling ölkelda in Olafsvík (Probe Nr. 14)

Entnahmestelle: Ölkelda Olafsvík, Snaefellsnes, Probe Nr.14

vom: 27.08.1986

pH-Wert: 6,0

Wassertemperatur: 9,0° C

Schüttung: nicht zu beobachten

CO₂-Gehalt: nicht gemessen; starke Gasaustritte
(1973: > 300 mg/kg n. Heyer-Versuch)

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	19,0	0,826	53,9
Kalium (K ⁺)	8,0	0,205	13,3
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,03	0,002	0,1
Magnesium (Mg ²⁺)	4,3	0,355	23,2
Calcium (Ca ²⁺)	2,9	0,145	9,4
Mangan (Mn ²⁺)	0,000	0,000	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	0,000	0,000	0,0
<u>Summe:</u>	34,33	1,533	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	1,10	0,058	3,8
Chlorid (Cl ⁻)	17,0	0,480	31,1
Bromid (Br ⁻)	0,00	0,000	0,0
Jodid (J ⁻)	0,32	0,003	0,2
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	4,0	0,083	5,4
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	1,0	0,016	1,1
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,03	0,001	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	54,9	0,900	58,4
<u>Summe:</u>	112,60	1,541	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	146,93		

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Stoffe:</u>		
Kieselsäure,meta(H ₂ SiO ₃)	18,6	0,238

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 165,5 mg/kg

Gesamtrückstand: 110,0 mg/kg

Charakteristik: Akratopege vom Typ eines Natrium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wassers

5.2.11 Ölkelda Grundarfjörður, Snaefellsnes, Probe Nr. 15

Die Probenuntersuchungen zeigen, daß dieses Wasser ähnliche Eigenschaften aufweist, wie der Sauerling in Olafsvík (Probe Nr. 14). Mit anderen Worten, beide Quellen enthalten z.B. nur geringe Mengen an Calcium, sie sind generell sehr mineralarm (Höll, Münzer 1975).

Die Quelle liegt am Südrand der Stadt, ca. 400 m südwestlich der Schule, am Fuß eines leicht ansteigenden Hanges. Im gesamten Einzugsgebiet stehen tertiäre Flutbasalte an (Abb. 58). Beachtlich ist ein sehr hoher CO₂-Austritt, der auch 1986 an den pausenlos unter leichtem Zischen aufsteigenden Gasblasen zu beobachten war. Sonder bezeichnet diese Stelle als unbedeutendes mofetoides Wasserloch. Nach seiner Beschreibung scheinen die einzelnen Mofettenaustritte nicht sehr beständig gewesen zu sein; er vermutet, daß Änderungen in der Wasserzirkulation sie zum Verschwinden bringen können.

Das 40 cm x 50 cm große und rund 50 cm tiefe Quelloch hat als sog. Quelltopf keinen Abfluß und somit auch keine Schüttung. Das 9° C kalte Wasser schmeckt geringfügig nach Eisen, der typische "Ölkelda"-Geschmack fehlt jedoch vollständig.



Abb. 58:

Lage der Entnahmestelle des Sauerlings Ölkelda Grundarfjörður (Probe Nr. 15) mit dem aus tertiären Flutbasalten aufgebauten Berg Kirkjufell (463 m)

Entnahmestelle: Ölkelda Grundarfjörður, Snæfellsnes
Probe Nr. 15

vom: 27.08.1986

pH-Wert: 6,0
Wassertemperatur: 9,0° C
Schüttung: nicht zu beobachten, da Quelloch
CO₂-Gehalt: nicht gemessen; sehr hoher Gasaustritt
(1973: > 100 mg/kg n. Heyer-Versuch)

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	4,0	0,174	13,0
Kalium (K ⁺)	4,0	0,102	7,7
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	8,0	0,658	49,2
Calcium (Ca ²⁺)	2,2	0,110	8,2
Mangan (Mn ²⁺)	0,00	0,000	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	8,20	0,294	21,9
<u>Summe:</u>	26,40	1,338	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	1,10	0,058	4,4
Chlorid (Cl ⁻)	11,3	0,319	24,5
Bromid (Br ⁻)	0,00	0,000	0,0
Jodid (J ⁻)	0,21	0,002	0,1
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	4,5	0,094	7,1
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	2,5	0,040	3,1
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,08	0,002	0,1
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	48,8	0,800	60,9
<u>Summe:</u>	68,49	1,314	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	94,89		

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Stoffe:</u>		
Kieselsäure, meta (H ₂ SiO ₃)	12,0	0,154

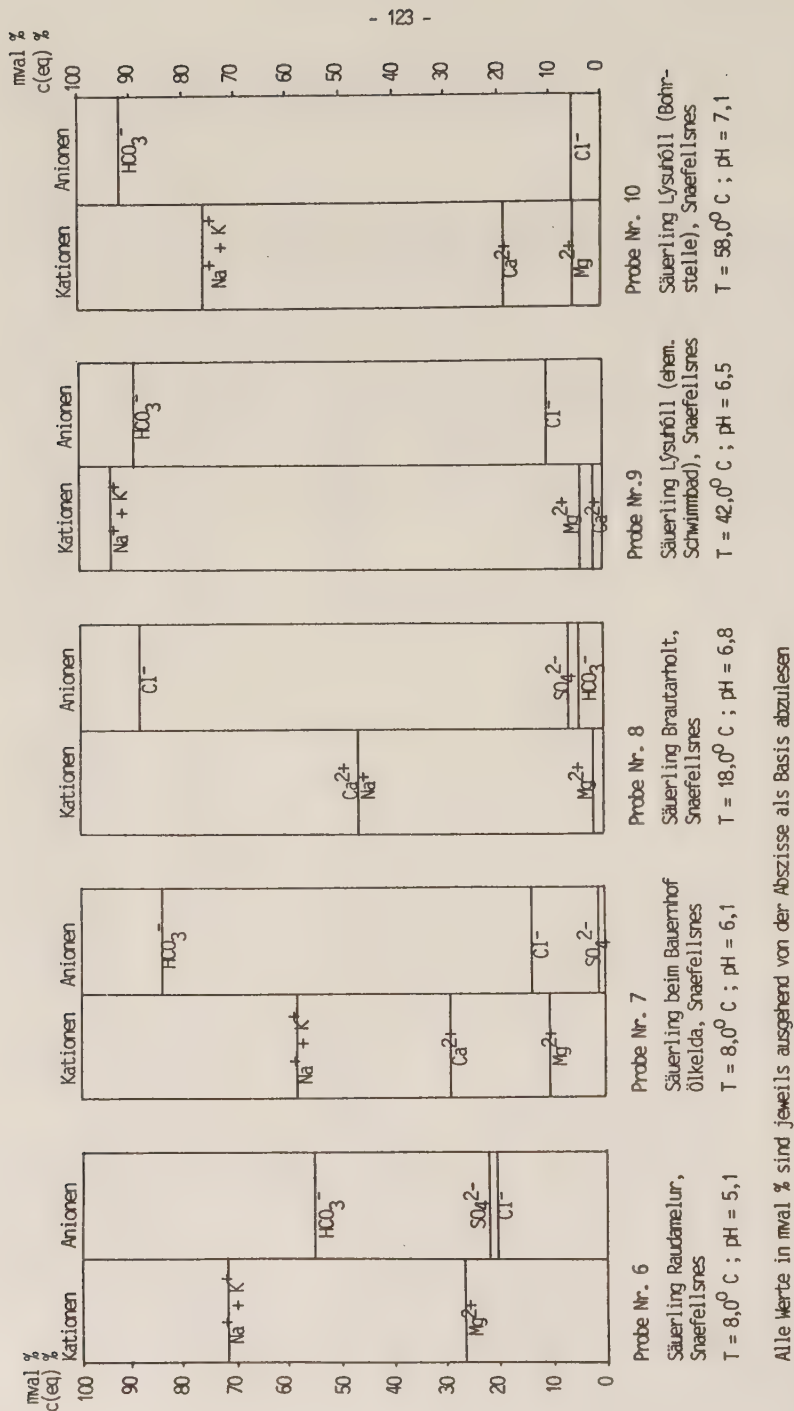
Summe aller gelösten
festen Stoffe: 106,89 mg/kg
Gesamtrückstand: 75,5 mg/kg

Charakteristik: Akratopege vom Typ eines eisenhaltigen Mag-
nesium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Wassers

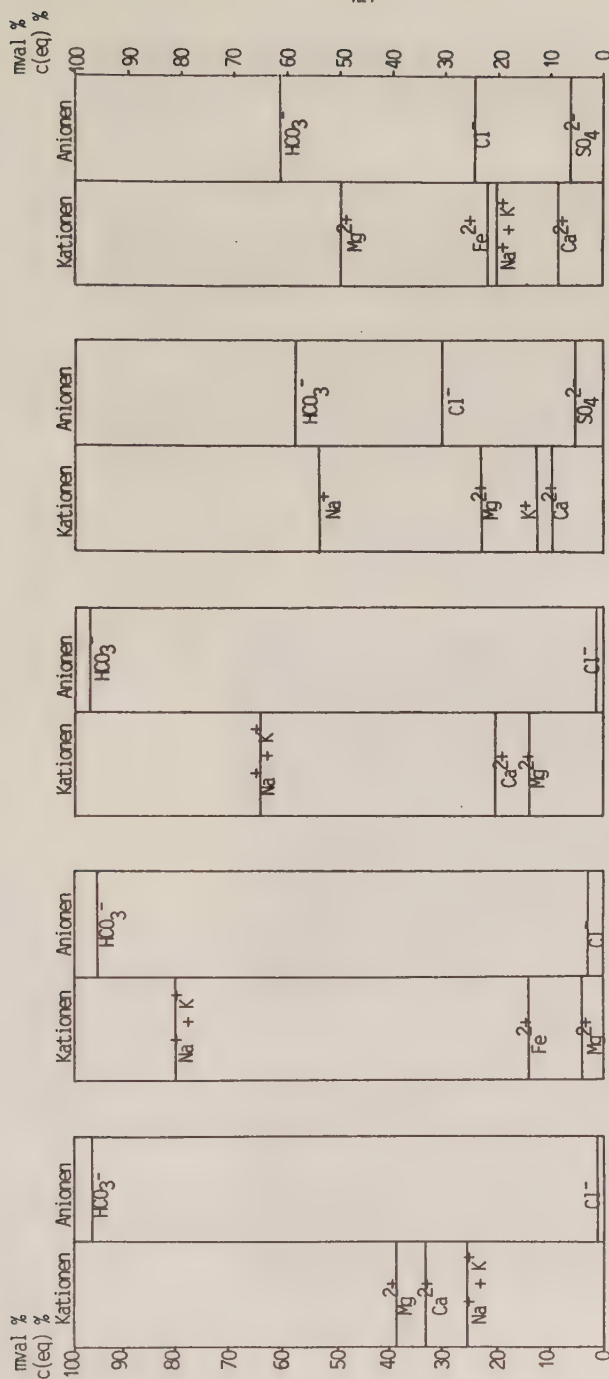
Beurteilung der Probe Nr. 15, Ölkelda Grundarfjördur, Snaefellsnes

Es handelt sich um eine Akratopege vom Typ einer eisenhaltigen Magnesium-Hydrogencarbonat-Chlorid-Quelle mit einem sehr niedrigen Mineralgehalt von 106,89 mg/kg. Sie ist "streng kochsalzarm", d.h. ihr Gehalt liegt unter der Mindestgrenze von 20 mg Na⁺/kg.

Auch Erdalkalien sind nur in sehr geringen Mengen feststellbar: Magnesium ist lediglich mit 8,0 mg Mg²⁺/kg und Calcium mit 2,2 mg Ca²⁺/kg vertreten. Der niedrige Gehalt von Chlorid (11,3 mg Cl⁻/kg) wirkt sich zwar günstig auf eine eventuelle Verwendung dieses Wassers aus, aber auch der Gehalt von 48,8 mg HCO₃⁻/kg und 0,21 mg J⁻/kg ändert nichts an der Klassifizierung als Akratopege.



Tab. 5: Darstellung der Wasseranalysen aus den Niedrigtemperatur-Gebieten (Halbinsel Snaefellsnes) in Säulendiagrammen



Probe Nr. 11

Säuerling Bjarnarfosskot, Snaefellsnes

T = 7,0° C ; pH = 6,2

Probe Nr. 12

Säuerling Hraunhafnardalur, Snaefellsnes

T = 7,0° C ; pH = 6,0

Probe Nr. 13

Säuerling Vallnahmukur, Snaefellsnes

T = 8,0° C ; pH = 6,1

Probe Nr. 14

Säuerling, Olafsvík, Snaefellsnes

T = 9,0° C ; pH = 6,0

Probe Nr. 15

Säuerling Grundarfjörður, Snaefellsnes

T = 9,0° C ; pH = 6,0

Alle Werte in mval % sind jeweils ausgehend von der Abszisse als Basis abzulesen

Tab. 6: Darstellung der Wasseranalysen aus den Niedrigtemperatur-Gebieten (Halbinsel Snaefellsnes) in Säulendiagrammen

5.3 Mineralquellen und Säuerlinge in Niedrigtemperatur-Ge- bieten - hier Südost-Inland

Im gesamten Südosten und Osten Islands befinden sich ausgedehnte tertiäre Basalte; ihr Alter wird bei Neskaupstadur nordöstlich des Reydarfjörður mit 14,2 und im Südosten bei Fellsá mit 1,7 Mill. Jahren angegeben (Walker 1959). In dem Untersuchungsgebiet wird das Alter der Vesturhorn - Intrusion mit 6,6 Mill. und das des Berges Ketillaugarfjall mit 12,0 Mill. Jahren eingestuft.

Rund 83% der tertiären Bereiche Ost-Islands bauen sich aus Basaltlaven auf, die in Tholeyite (48%), in Olivinbasalte (23%) und in phorphyrische Basalte (12%) untergliedert werden.

Walker (1959) und Charmichael (1964) schätzen bei den ostisländischen Basalten den mengenmäßigen Anteil von saurem und intermediärem Material auf 12 - 14 %. Ein ausgeprägtes Gangsystem durchzieht überwiegend in SSW-NNE und SE-NW Richtung die tholeytischen Basalte. Walker stellte am Reydarfjörður auf einer Länge von 42 km über 590 Gänge mit einer Gesamtdicke von 1950 m fest. Verwerfungen, Spalten, Spaltenzonen sowie auch Gänge sind besonders gut geeignet, Thermalwasser oder Quellen an die Oberfläche austreten zu lassen.

5.3.1 Ölkelda Höfn. Probe Nr. 16

Im Jahr 1986 wurde ein typischer Säuerling auch in Südost-Inland gefunden. Er liegt wie die Säuerlinge auf Snaefellsnes in einem Niedrigtemperatur-Gebiet. Die Quelle, Ölkelda Höfn, befindet sich etwa 7 km nördlich der Stadt Höfn, am Nordende des Sees Thveit, rund 15 m östlich der Ringstraße Nr. 1. Auffallend ist, daß auch dieser Säuerling im Kontaktbereich von tertiären, basischen Flutbasalten und sauren Intrusionen vorkommt. Nur wenige hundert Meter östlich der Quelle liegt der 668 m hohe Ketillaugarfjall, der aus klastischen Sedimenten, Rhyolithen und Gabbros aufgebaut ist.

Zwischen dem See Thveit und dem Ketillaugarfjall erstreckt sich eine glazial überprägte Rundhöckerlandschaft, deren Senken mit sauren Wiesen und Kleinmooren aufgefüllt sind.



Abb. 59: Lage der Probenentnahmestelle des Säuerlings ölkelda Höfn (Probe Nr. 16) im Bereich glazial überprägter Landschaft mit Küstenstraße (li), Berg Hoffellsfjall (Hintergrund li), Intrusion Ketillaugarfjall (re) im Südosten Islands



Abb. 60: Probenentnahme am Säuerling ölkelda Höfn (Probe Nr. 16) Südost Island

Entnahmestelle: Ölkelda Höfn, Südost-Island, Probe Nr. 16

vom: 30.07.1986

pH-Wert: 6,4

Wassertemperatur: 7,0° C

Schüttung: 0,5 Liter pro Minute

CO₂-Gehalt: nicht gemessen; erhöhter Gasaustritt bei Erschütterung

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	610,0	26,534	74,2
Kalium (K ⁺)	22,4	0,573	1,6
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,00	0,000	0,0
Magnesium (Mg ²⁺)	35,38	2,910	8,1
Calcium (Ca ²⁺)	114,4	5,709	16,0
Mangan (Mn ²⁺)	0,000	0,000	0,0
Eisen (Fe ²⁺)	1,200	0,043	0,1
<u>Summe:</u>	783,38	35,769	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,05	0,003	0,0
Chlorid (Cl ⁻)	156,0	4,400	12,4
Bromid (Br ⁻)	0,00	0,000	0,0
Jodid (J ⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	431,6	8,986	25,3
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	1,0	0,016	0,0
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,03	0,001	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	1348,5	22,100	62,2
<u>Summe:</u>	1937,18	35,506	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	2720,56		

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Stoffe:</u>		
Kieselsäure, meta (H ₂ SiO ₃)	80,6	1,106

<u>Summe aller gelösten festen Stoffe:</u>	2801,16 mg/kg
Gesamtrückstand:	2810,0 mg/kg

Charakteristik: Natrium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Wasser

Der Sauerling Ölkelda Höfn wurde am Westrand eines solchen kleinen Rundhöckers gefunden (Abb. 32, 59). Einziger Hinweis zur Lokalisierung der Quelle ist ein ca. 2 m² großer und einige Zentimeter dicker Kiesel-sinter-Belag, der durch die geringe Schüttung auf der Oberfläche stark erodiert ist. Aus mehreren winzigen Löchern fließt klares Quellwasser mit einem sehr bitteren bis sauren, aber guten und intensiven Geschmack, der typisch für Ölkelda-Wasser ist, aus. Die Ausflußstelle selbst hat eine Fläche von 25 cm x 25 cm und eine geringe Tiefe von wenigen Zentimetern (Abb. 60). Bei leichter Erschütterung des Quellbereichs trat sofort ein erhöhter CO₂-Austritt ein, der über eine längere Zeit hinweg anhielt. Die geringe Schüttung, bedingt durch den relativ trockenen Sommer 1986, machte eine Abfüllung mit einem Löffel notwendig (s. Ölkelda Hraunhafnardalur, Probe Nr. 12).

Die Suche nach weiteren Sauerlingen, die auf der geologischen Karte (Jardfraedikort Islands, Blad 9) 15 km westlich der Ölkelda Höfn inmitten ausgedehnter mooriger Flächen angegeben waren, führte zu keinem Ergebnis. Es wurde lediglich bei Bakki-Brunnhólskirkja am Hornafjörður eine Akratopege vom Typ einer Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Quelle mit einem Gehalt von 521,3 mg/kg gelöster fester Stoffe gefunden.

Beurteilung der Probe Nr. 16. Ölkelda Höfn, Südost-Inland

Hier handelt es sich nicht nur um ein reichhaltiges Mineralwasser, sondern auch um ein wertvolles Heilwasser von der Beschaffenheit eines Natrium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Wassers. Es hat einen Gesamtgehalt von 2801,2 mg/kg gelöster fester Stoffe und einen pH-Wert im schwach sauren Bereich. Im Vergleich zu dem Trinkwasser von Reykjavík (Probe Nr. 18) liegen die Werte um das 30,6 fache höher.

Natrium dominiert mit 610,0 mg Na⁺/kg bzw. 74,2 mval % = c(eq)%. Calcium liegt mit einem Anteil von 16,0 mval % unterhalb der Bemessungsgrenze, während der Hydrogencarbonat-Gehalt (1348,5 mg HCO₃⁻/kg bzw. 62,2 mval % = c(eq)%) und der Sulfat-Gehalt (431,6 mg SO₄²⁻/kg bzw. 25,3 mval % = c(eq)%) sich günstig auswirken.

5.4 Akratopegen im Süden Islands

Im Sommer 1986 wurden weitere Proben in Niedrigtemperatur-Gebieten untersucht, wie z.B. im Mosfellsdalur, bei dem Hof As i Holtum, bei Guttormshagi - Hagakot und - wie bereits erwähnt - Bakki bei Brunnhólskirkja in der Nähe des Hornafjörðurs. Sie konnten mit einem Gesamtgehalt an gelösten festen Stoffen von 170 bis 614 mg/kg nur als Akratopegen, d.h. nicht als mineralreiche Quellen eingestuft und in dieser Arbeit berücksichtigt werden. Die Temperaturen dieser kochsalzarmen Wässer bewegen sich zwischen 8° C und 19° C, die pH-Werte liegen zwischen 6,0 und 7,4.

5.4.1 Eisenhaltige Akratopege Fremriháls, Esja-Gebirge, Südwest-Island, Probe Nr. 17

Anders verhält es sich mit der Akratopege Fremriháls im Esja-Gebirge, die schon wegen ihres sehr beachtlichen Eisengehalts und ihrer hohen Schüttung Erwähnung verdient.

Die Quelle ist über die Straße Reykjavik-Mosfellsdalur-Thingvellir zu erreichen. Bei Klettasund verläßt man die Straße in nordwestlicher Richtung zum Hvalfjörður und erreicht nach ca. 8 km südwestlich den Hof Fremriháls (Abb. 32,61).

Ein ausgeprägtes Störungs- und Gangsystem durchzieht von SSW-NNE bis SW-NE und ESE-WNW bis SSE-NNW das Untersuchungsgebiet (Abb. 61).

Das Quellgebiet liegt am Rand der flachen Hochebene Kjósarskard, die im Osten und Westen von hohen pleistozänen Plateaubasalten eingefast wird (Abb. 61). Der Quellaustritt selbst befindet sich etwa 3 km vom Bauernhof entfernt, bachaufwärts direkt am Ostufer der Hálsá, 1,5 m über dem Bachniveau. Eine gute Orientierungsmöglichkeit gibt die große Stromleitung, die in etwa 800 m Entfernung die Hochebene Kjósarskard durchquert. Auch die intensiv rostbraune Verfärbung des Bachufers auf einer Länge von gut 25 m - eine Folge des hohen Eisengehalts des Quellwassers - trägt dazu bei, die Stelle zu finden (Abb. 62). Messungen ergaben eine starke Schüttung von mindestens 1-2 l/ 5 sec. und eine Wassertemperatur von 6° C. Der Quellbereich besteht aus lockeren basaltischen Gesteinsblöcken, z.T. auch Säulenbruchstücken, über die das Quellwasser läuft und in die Hálsá abfließt.



Abb. 61: Ausschnitt der Landsat-TM Szene (219/15, vom 7.9.86, Kanal 5) mit Lage der Akratopege Fremriháls (Esja-Gebirge)

- | | |
|--|------------------|
| 1 = Akratopege Fremriháls (Probe Nr. 17) | 4 = Esja Gebirge |
| 2 = Akratopege Hradastadir (Mosfellsdalur) | 5 = Hvalfjörður |
| 3 = Akratopege Gljúfrasteinn (Mosfellsdalur) | 6 = Reykjavík |



Abb. 62: Probenentnahme bei der eisenhaltigen Akratopege Fremriháls (Probe Nr. 17) Esja-Gebirge, Blickrichtung nach NW zum Hvalfjörður

Entnahmestelle: Akratopege Fremriháls, Esja-Gebirge,
Probe Nr.17

vom: 16.08.1986

pH-Wert: 5,9

Wassertemperatur: 6,0° C

Schüttung: mehr als 1-2 Liter pro 5 Sekunden

In 1 kg Wasser sind enthalten:

<u>Kationen:</u>	Milligramm mg	Millival mval [c(eq)mmol]	Millival % mval% [c(eq)%]
Natrium (Na ⁺)	3,0	0,130	7,6
Kalium (K ⁺)	1,0	0,026	1,5
Ammonium (NH ₄ ⁺)	0,44	0,024	1,4
Magnesium (Mg ²⁺)	0,5	0,041	2,4
Calcium (Ca ²⁺)	12,2	0,609	35,6
Mangan (Mn ²⁺)	0,60	0,022	1,3
Eisen (Fe ²⁺)	24,00	0,859	50,2
<u>Summe:</u>	41,74	1,711	100,0

Anionen:

Fluorid (F ⁻)	0,10	0,005	0,3
Chlorid (Cl ⁻)	5,3	0,149	8,4
Bromid (Br ⁻)	0,00	0,000	0,0
Jodid (J ⁻)	0,32	0,003	0,1
Hydrogen- sulfid (HS ⁻)	0,00	0,000	0,0
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	4,0	0,083	4,7
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0,000	0,000	0,0
Nitrat (NO ₃ ⁻)	3,0	0,048	2,7
Hydrogen- phosphat (HPO ₄ ²⁻)	0,00	0,000	0,0
Hydrogen- carbonat (HCO ₃ ⁻)	91,5	1,500	83,8
<u>Summe:</u>	104,22	1,789	100,0
<u>Anionen+Kationen:</u>	145,96		

		Millimol mmol
<u>Undissoziierte Stoffe:</u>		
Kieselsäure,meta(H ₂ SiO ₃)	71,5	0,915

Summe aller gelösten

festen Stoffe: 217,5 mg/kg

Gesamtrückstand: 199,0 mg/kg

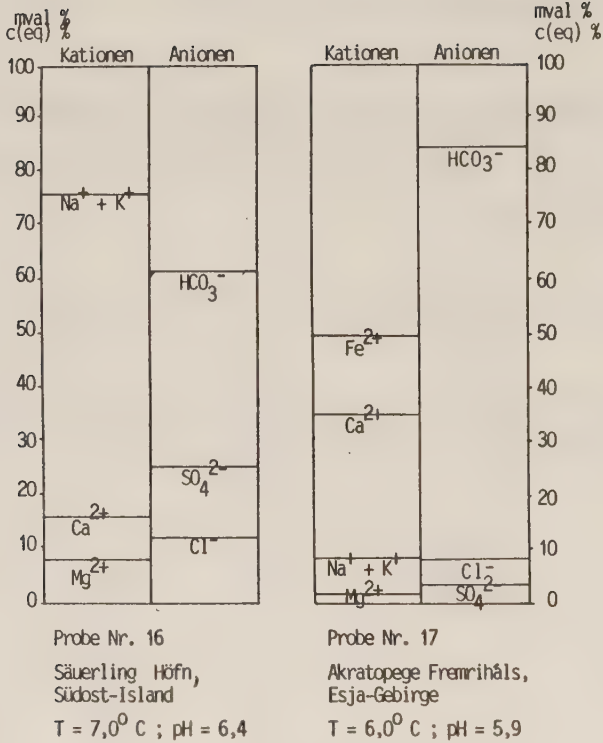
Charakteristik: Akratopege vom Typ eines Calcium-Hydrogencarbonat-Wassers mit hohem Eisengehalt

Beurteilung der Probe Nr. 17, eisenhaltige Akratopege
Fremriháls, Esja-Gebirge, Südwest-Island

Es handelt sich hier um ein ausgesprochen mineralarmes Wasser mit einem Gesamtgehalt von 217,5 mg/kg an gelösten festen Stoffen; es ist zugleich mit nicht mehr als 3,0 mg Na⁺/kg sehr kochsalzarm. Der Gehalt an Calcium beträgt 12,2 mg/kg bzw. 35,6 mval % = c(eq%). Magnesium wurde nur in geringen Mengen nachgewiesen.

Der hohe Anteil an Eisen (24,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 50,2 mval % = c(eq%)) wirkt sich aber positiv aus, so daß Fremriháls trotz des geringen Mineralstoff-Gehalts von Bedeutung ist.

Auch der Jod-Gehalt von 0,32 mg/kg zeigt, daß es sich um ein edleres Wasser handelt. Der Fluorid-Anteil (0,10 mg/kg) ist sehr gering und liegt weit unter dem Grenzwert von 1,5 mg/kg.



Alle Werte in mval % sind jeweils ausgehend von der Abszisse als Basis abzulesen

Tab. 7: Darstellung der Wasseranalysen aus den Niedrigtemperatur-Gebieten (Südost- und Südwest - Island) in Säulendiagrammen

5.5 Trinkwasser von Reykjavík, Probe Nr. 18

Um die Qualität der untersuchten Mineralwässer, Säuerlinge und Akratopegen auf Island zu verdeutlichen, wurde der Versuch unternommen, sie dem Trinkwasser der Hauptstadt gegenüberzustellen. Dies erscheint im Fall von Island insofern als berechtigt, da Mineralwässer nicht auf dem Markt sind und die Bevölkerung auf Leitungswasser angewiesen ist.

Die Analyse des Reykjaviker Trinkwassers hat die Vermutung bestätigt, daß es sich um ein weiches, mineralarmes Wasser handelt.

Entnahme: Trinkwasser aus der Wasserleitung von Reykjavík, Probe Nr. 18

vom: 31.08.1986

Kleine Trinkwasser-Analyse

Gesamthärte: 2,0° dH

Karbonathärte: 1,82° dH

Nichtkarbonathärte: 0,18° dH

Temperatur: 9,0° C

Kationen:

Natrium (Na⁺) 8,8 mg/l

Kalium (K⁺) 1,0 mg/l

Calcium (Ca²⁺) 5,7 mg/l

Magnesium (Mg²⁺) 1,73 mg/l

Anionen:

Chlorid (Cl⁻) 13,5 mg/l

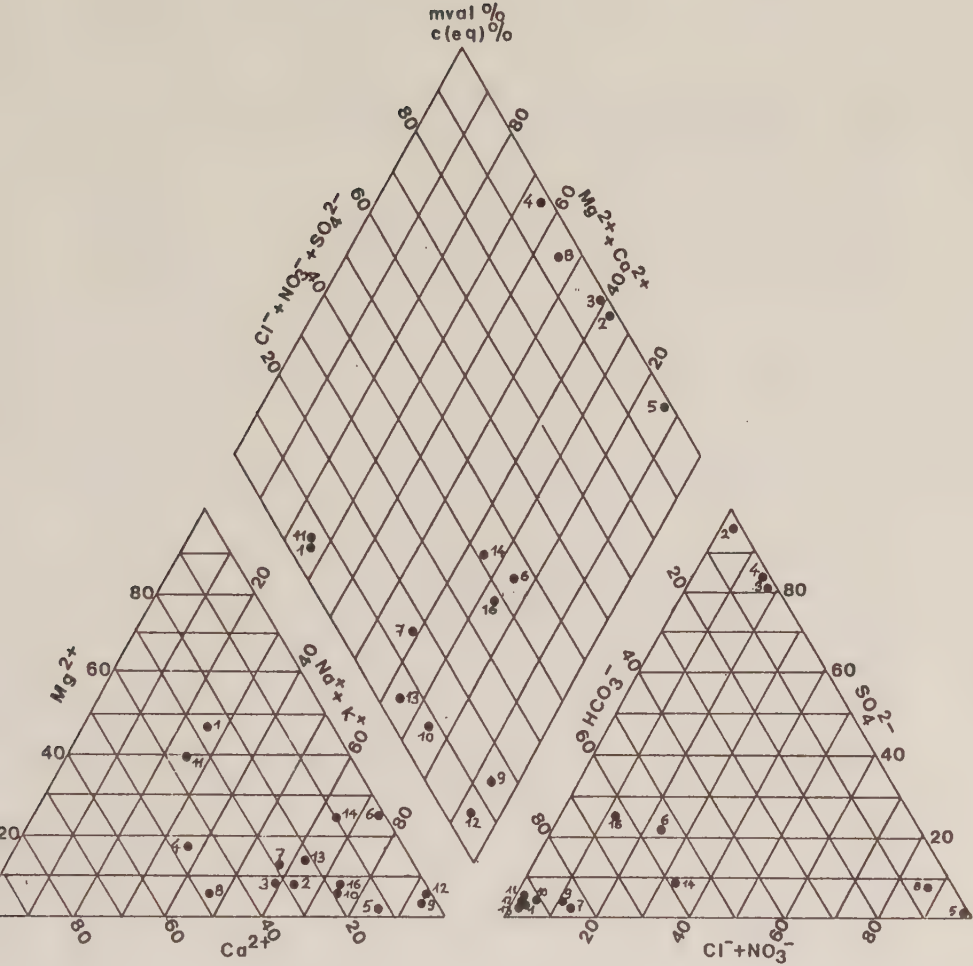
Sulfat (SO₄²⁻) 9,2 mg/l

Hydrogen-carbonat (HCO₃⁻) 48,8 mg/l

Fluorid (F⁻) 0,1 mg/l

a, Bundesgesetzblatt 1.8.84	
Angaben	Anforderungen für natürliches Mineralwasser
Mit geringem Gehalt an Mineralien	Der als fester Rückstand berechnete Mineralstoffgehalt beträgt nicht mehr als 500 mg/l
Mit hohem Gehalt an Mineralien	Der als fester Rückstand berechnete Mineralstoffgehalt beträgt mehr als 1500 mg/l
Bicarbonathaltig	Der Hydrogencarbonat-Gehalt beträgt mehr als 600 mg/l
Sulfathaltig	Der Sulfatgehalt beträgt mehr als 200 mg/l
Chloridhaltig	Der Chloridgehalt beträgt mehr als 200 mg/l
Calciumhaltig	Der Calciumgehalt beträgt mehr als 150 mg/l
Magnesiumhaltig	Der Magnesiumgehalt beträgt mehr als 50 mg/l
Fluoridhaltig	Der Fluoridgehalt beträgt mehr als 1 mg/l
Eisenhaltig	Der Gehalt an zweiwertigem Eisen beträgt mehr als 1 mg/l
Natriumhaltig	Der Natriumgehalt beträgt mehr als 200 mg/l
Geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung	Der Gehalt an Natrium darf 20 mg/l, an Nitrat 10 mg/l, an Nitrit 0,02 mg/l und an Fluorid 1,5 mg/l nicht überschreiten.
Geeignet für natriumarme Ernährung	Der Natriumgehalt beträgt weniger als 20 mg/l
b, Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen 11.4.87	
Angaben	Anforderungen für Heilwässer
	Der Gehalt an besonders wirksamen Bestandteilen muß mindestens folgende Werte erreichen:
Eisenhaltige Wässer	20 mg/kg Eisen
Jodhaltige Wässer	1 mg/kg Jodid
Schwefelhaltige Wässer	1 mg/kg Sulfidschwefel (S)
Kohlensäure-Wässer oder Sauerlinge	1000 mg/kg freies gelöstes Kohlendioxid
Fluoridhaltige Wässer	1 mg/kg Fluorid
Thermen	Wässer, deren Temperatur von Natur aus höher als 20° C ist
Sole	Wässer, die in 1 kg über 5,5 g Natrium- und 8,5 g Chlorid-Ionen (entsprechend 240 mval/kg Natrium- bzw. Chlorid-Ionen) enthalten.

Tab. 8: Zusammenstellung wichtiger Anforderungen an Mineralwässer aus dem Bundesgesetzblatt vom 1.8.84, "Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung)" und Auflistung der Werte für Heilwässer, aus "Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen", Deutscher Bäderverband, vom 11.4.87.



- | | | |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 = Thermalsäuerling Hengiadalir | 7 = Säuerling Ölkelda | 13 = Säuerling Vallnahnökur |
| 2 = Thermalquelle Stórhöf | 8 = Säuerling Brautarholt | 14 = Säuerling Ólafsvík |
| 3 = Thermalwasser Víti Dyngjufjöll | 9 = Thermalsäuerling Lysuhöll | 16 = Säuerling Höfn |
| 4 = Thermalquelle Nedri Hveradalir | 10 = Thermalsäuerling Lysuhöll | |
| 5 = Thermalsole Svartsengi | 11 = Säuerling Bjarnarfosskot | |
| 6 = Säuerling Raudamelur | 12 = Säuerling Brauhafnardalur | |

Wegen des hohen Eisengehalts in mval % wurden die Proben 15 und 17 nicht mit aufgenommen

Tab. 9: Darstellung der Wasseranalysen (Proben Nr. 1-14 und 16) im Piper Diagramm

6. ZUSAMMENFASSUNG

Untersucht wurden Quellvorkommen und Wasseraustritte Islands in einigen Hochtemperatur-Gebieten der neo-vulkanischen Zone und in Niedrigtemperatur-Gebieten, die heute nicht mehr vulkanisch aktiv sind, nach folgenden Gesichtspunkten:

- Bestimmung des Verlaufs des Gewässernetzes und der tektonischen Strukturen mit Hilfe von Verfahren der Fernerkundung und Photogrammetrie;
- Korrelation der Daten;
- chemische Analyse und Bewertung ausgewählter Wässer.

Als Grundlage für die tektonische Struktur-Interpretation wurden ein Satellitenbild-Mosaik aus 9 Satellitenszenen im Maßstab 1:1 Mill. und eine Lineamentkarte von Island, ebenfalls im Maßstab 1:1 Mill., erstellt.

Basierend auf der Definition des Begriffs "Lineament" von O'Leary et al. (1976) mußten zunächst die spezifisch für Island charakteristischen linearen Strukturen nach den Ursachen ihres Entstehens überprüft und klassifiziert werden. Es ergaben sich 3 Gruppen: die vulkanogenen Lineamente, die auf Spalteneruptionen zurückzuführen sind; die tektonischen Lineamente, wie die Dehnungs- und Zerrspalten und die tektonisch-magmatischen Lineamente, d.h. die mit Magma aufgefüllten Dehnungsrisse und sich kreuzenden Gänge. Die beiden ersten Gruppen sind postglazialen bis rezenten Alters, während die dritte Gruppe in miozänen bis pleistozänen Plateaubasalten zu finden ist.

Die Lineamentkarte stützt sich auf Landsat-MSS Daten (Kanäle 5 (0,6-0,7 um) und 7 (0,8-1,1 um)) und Landsat-TM Daten (Kanal 4 (0,76-0,90 um)). Ihre statistische Auswertung ergab 17632 Lineamente mit einer Gesamtlänge von 69646 km bzw. einer mittleren Länge von 3,95 km. (Sonder stellte 658 lineare Strukturen im Jahr 1938 fest). Mit 46 Lineament-Rosen wurden ferner die Anzahl bzw. Länge der Lineamente pro 10 Grad ermittelt.

In der Interpretation konnten 4 dominante Richtungssysteme festgestellt werden, die Island durchqueren: eine SW-NE Orientierung vorwiegend im Süden, bei den beiden Streifen der neo-vulkanischen Zone und in der dazwischen liegenden Hreppar-Serie; eine S-N Richtung entlang der neo-vulkanischen Zone im Norden, beginnend in den Randbereichen des Vatnajökull; ein E-W System bzw. ESE-WNW Richtungen im Bereich der vermuteten Snaefellsnes-Vatnajökull Transform-Fault und im

Gebiet Reykjanes-Thingvellir - eventuell ein Hinweis auf die Existenz der Reykjanes Transform-Fault; eine SE-NW bzw. ESE-WNW Richtung auf Snaefellsnes und im Bereich der seismisch nachgewiesenen Tjörnes Transform-Fault. Diese Lineament-systeme decken sich mit den geotektonischen Gegebenheiten.

Da auch das Gewässernetz Aufschluß über tektonische Strukturen geben kann, wurde eine hydrogeologische Karte von Island im Maßstab 1:1 Mill. erstellt. 5208 Gewässerteilstücke wurden statistisch erfaßt mit einer Gesamtlänge von 16612 km und einem Mittelwert von 3,19 km. Die 44 Gewässernetz-Rosen zeigen die gleichen Vorzugsrichtungen wie die Lineament-Rosen, d.h. SW-NE, S-N, E-W und SE-NW. Die Abweichungstendenz ist jedoch stärker.

Ein Vergleich der Auswertung von Lineament- und hydrogeologischer Karte bestätigte, daß ein enger Zusammenhang zwischen der Orientierung der linearen tektonischen Strukturen auf Island und der Ausrichtung seiner Fluß- und Bachsysteme besteht. Die Aussagen decken sich weitgehend. Das Gewässernetz auf Island ist tektonisch kontrolliert. Unterschiede bestehen lediglich in der Dichte (km/km^2) der Lineamente und der Gewässerteilstücke in den einzelnen Planquadraten.

Auch die Geländearbeit kam in ausgewählten Gebieten zu den gleichen Resultaten wie die statistischen Auswertungen der Rosen.

Um die Erkenntnisse weiter zu vertiefen, wurde ferner in einem speziellen Gebiet, der Hengill Region, unter Einsatz multitemporaler TM-Daten und eines Orthophotos, die Ausbildung der Flußsysteme und die Möglichkeit der Identifizierung von Quellen an Bruchstrukturen untersucht.

Als Arbeitsunterlage dienten 2 TM-Szenen vom Mai 1985 bzw. September 1986. Verschiedene Verfahren mußten auf ihre Eignung für die Erfassung geothermaler Daten überprüft werden. Nicht angewendet werden konnten Filterverfahren und Ratiotransformationen, da u.a. in Island die Vegetationsdecke bis zu den Quellaustritten reicht und damit Reflexionsunterschiede nicht zum Ausdruck kommen. Auf den Einsatz des Spektralkanals 6 (10,40-12,50 μm) der beiden TM-Szenen mußte verzichtet werden, weil Daten über die Wärmeanomalien durch die Einwirkung der Sonne verfälscht werden. Bei Quellgrößen von 1-10 m^2 reichen zudem die Bodenpixelgrößen von 30x30 m der Kanäle 3,4,5 und deren Verarbeitungen zu 10x10 m (nach der Methode Cubic Convolution) für eine Identifizierung nicht aus.

Für die Erkennung von Bruchstrukturen dagegen genügten Kontrastverstärkungen der Kanäle 3,4,5 mit der Bodenpixelgröße 10x10 m.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß eine zuverlässige Interpretation bei Wärmeanomalien in Island, d.h. bei der Ermittlung von Thermalquellen oder deren Veränderungen, nur mit Thermalscanner-Befliegungen aus niedriger Flughöhe unter Verwendung ausgewählter thermischer Spektralkanäle zu erreichen ist.

Stereoskopische Luftaufnahmen von Tiefbefliegungen erwiesen sich als wertvolle Unterstützung bei der Feldarbeit, wenn sich auch der Radialversatz und die unterschiedlichen Maßstäbe im Bild nachteilig auswirkten.

Die besten Resultate brachte das Orthophoto im Maßstab 1:5000. Erst mit seiner Hilfe konnte exakt die maßstäbliche Lage und Größe von Quellaustritten bestimmt werden. Weitere 16 Quellen wurden im Umfeld des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli ermittelt und ihre Abhängigkeit von dem Bruchsystem des Testgebietes aufgezeigt.

Des weiteren wurden 2 Karten vom Hengill-Gebiet angefertigt - eine aus 7 Luftbildmodellen (Flughöhe 6 km) erstellte Karte, auf der die 2714 Lineamente mit einer Gesamtlänge von 647 km und einer gemittelten Länge von 238 m eingetragen sind. Die Aussage der zweiten Karte stützte sich auf Satellitenbildauswertungen (Landsat-TM). Die 1039 Lineamente dieser Karte haben eine Gesamtlänge von 489 km und eine gemittelte Länge von 471 m. Auf beiden Karten erscheinen die 1348 Gewässerteilstücke mit einer Gesamtlänge von 229 km und einer gemittelten Länge von 170 m.

Diese Zahlen zeigen, daß die TM Satellitenbildverarbeitung der mühevollen und zeitraubenden Luftbildauswertung bei der Interpretation größer angelegter Bruchstrukturen vorzuziehen ist.

Die Geländearbeit bestätigte schließlich den Verlauf der Störungen, Verwerfungen und Quellanordnungen in den auch auf den beiden Karten erkennbaren SSW-NNE, SE-NW bzw. ESE-WNW Richtungen.

Die mit Methoden der Fernerkundung und Photogrammetrie auf Island durchgeführten Untersuchungen konnten aufzeigen, daß Wasseraustritte und Quellanordnungen jeweils von der Lage und Ausrichtung der Brüche abhängig sind und daß mit Hilfe von Luftaufnahmen eine maßstabgerechte Identifizierung auch kleinerer Einheiten, wie der Quellen, möglich ist.

Nicht nur die Relation von Bruchsystemen, Gewässernetz und Quellanordnungen auf Island wurden in dieser Arbeit untersucht, sondern es wurde auch als Ergänzung der Aussage eine Charakterisierung und Bewertung einiger ausgewählter Wässer vorgenommen. Zunächst war festzustellen, daß eine eindeutige Zuordnung der Quellen nach Wassertemperatur und Zugehörigkeit zu den verschiedenen Thermalzonen nicht immer möglich ist. Heiße und warme bzw. kalte Quellen liegen oft nahe beieinander in einem Hochtemperatur- oder in einem Niedrigtemperatur-Gebiet; heiße Quellen von 45° - 100° C treten allerdings häufig in den vulkanisch nicht mehr aktiven Niedrigtemperatur-Zonen stärker auf, da dort der Wärmefluß im Boden relativ hoch ist.

Auf Grund der Ergebnisse der Analysen, vorrangig aus dem Jahr 1986, konnten u.a. folgende Gruppen isländischer Wasser als typisch für das Land und als besonders interessant herausgestellt werden: die Säuerlinge oder Ölkeldur vor allem auf der aus tertiären und pleistozänen Flutbasalten aufgebauten Halbinsel Snæfellsnes und z.T. auch im Südosten des Landes; die Sulfat-Thermalwässer überwiegend magmatischen Ursprungs in der neo-vulkanischen Zone; die stark konzentrierten Chlorid-Wässer in den küstennahen Bereichen z.B. der Halbinsel Reykjanes. Auch mineralarme Akratopegen wurden analysiert, ein Quelltyp, der nicht an bestimmte geologische Zonen gebunden ist und in Hochtemperatur- ebenso wie in Niedrigtemperatur-Regionen auftritt.

Die Bäderwirtschaft hatte zum ersten Mal im Jahr 1911 versucht, mit den "Nauheimer Beschlüssen" nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten den Charakter von Heilquellen zu bestimmen und die an sie zu stellenden Anforderungen zu definieren. Es wurde u.a. festgelegt, daß ein Grundwasser nur dann als Mineralwasser bezeichnet werden darf, wenn sein Gehalt an festen gelösten Stoffen, d.h. an Mineralsalzen, mehr als 1 g in 1 kg beträgt. Diese Bedingung wird auch heute noch für Heilwässer vom Deutschen Bäderverband gestellt. Sie ist gleichzeitig richtungsweisend für die gesetzlichen Vorschriften für Mineralwässer.

Die mit dieser Arbeit vorgelegten Analysen haben gezeigt, daß die überwiegende Mehrzahl der untersuchten isländischen Wässer diese Voraussetzung für eine Klassifizierung als Mineralquellen erfüllen und darüber hinaus die Vielfalt ihrer Inhaltsstoffe und Eigenschaften groß ist.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Amelung, W.
Evers, A. (1962) Handbuch der Bäder- und Klima-
heilkunde.- Schattauer, 1090 S., Stutt-
gart
- Amelung, W.
Hildebrandt, G. (1985,1986) Balneologie und medi-
zinische Klimatologie.- 3 Bd., Sprin-
ger-Verlag, Heidelberg-New York-Tokio
- Arnason, B.
Björnsson, S.
Saemundsson, K.
Theódórsson, P. (1969) Hengill, a High Tempera-
ture Thermal Area in Iceland. -
Bulletin volcanologique, vol. 33, pp.
245 - 259, Neapel
- Arnason, B. (1976) Groundwater Systems in Iceland.
- Soc.Sci. Isl., 42, 236 pp., Reykjavík
- Arnórsson, S. (1977) Changes in the Chemistry of
Water and Steam Discharged from Wells
in the Námafjall Geothermal Field,
Iceland. - Jökull, AR 27 , pp. 47-59,
Reykjavík
- Arnórsson, S.
Barnes, J. (1983) The Nature of Carbon Dioxide
Waters in Snaefellsnes, Western
Iceland. - Geothermics, vol. 12, No.
2/3, Pergamon Press Ltd., pp.171-176,
Oxford
- Arnórsson, S. (1983) Chemical Equilibria in
Icelandic Geothermal Systems -
Implications for Chemical Geo-
thermometry Investigations. - Geo-
thermics, vol. 12, No.2/3, pp.119-128,
Washington, D.C.
- Albertz, J.
Kreiling, W. (1980) Photogrammetrisches Taschenbuch.
- Herbert Wichmann Verlag, 280 S.,
Karlsruhe
- Atallah, M. (1986) Application of Remote Sensing
and Field Techniques to Tectonic
Problems of the Dead Sea Rift in
Jordan. - Diss. T.U. München, 154 S.,
München
- Barth, T.F.W. (1942,1943) Some Unusual Groundwater
Phenomena in Iceland. - Norsk Geogr.
Tidsskr. 9 (4), pp. 158-172, Oslo

- Barth, T.F.W. (1950) Volcanic Geology, Hot Springs and Geysers of Iceland. - Carnegie Inst., Publication 587, 174 pp., Washington, D.C.
- Bemmelen, R.W. van (1955) Table mountains of Northern Iceland. - 217 pp., Leiden
- Bernauer, F. (1943) Junge Tektonik auf Island und ihre Ursachen. -In: Spalten auf Island. - Verlag K. Wittwer, S.14-64, Stuttgart
- Björnsson, A. (1977) Current rifting episode in north Iceland. - Nature, vol. 266, No. 5600, pp. 318-323, London
- Saemundsson, K.
Einarsson, P.
Tryggvason, E.
Grönvold, K.
- Björnsson, S. (1981) Crust and upper Mantle beneath Iceland. - Raunvísindastofnun Háskólans, RH -81-10, 31 pp., Reykjavík
- Bodechtel, J. (1974) Geologisch-tektonische Auswertungen von ERTS-1 und Skylab Aufnahmen von Nord- und Mittelitalien. - Geoforum, 20, Pergamon Press, S. 11-24, Oxford
- Nithack, J.
- Bodechtel, J. (1975) Eine Möglichkeit der anwendungsbezogenen Reduktion multispektraler Daten am Beispiel von ERTS-1. - Raumfahrtforschung, 1, S.7-11, München
- Haydn, R.
- Bodechtel, J. (1978) Satellite Lineaments of the Central Mediterranean Region (Sicily/Calabria). - Alps, Apennines, Hellenides, Inter-Union Commission on Geodynamics, Scientific Report No. 38, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, pp. 339-340, Stuttgart
- Münzer, U.
- Bodechtel, J. (1979) Comparison of Seasat and Landsat Data of Iceland for Qualitative Geological Application. - Proc. of the ESA SEASAT-SAR Processor Workshop, Frascati, Italy, ESA - Sp, pp. 61-67, Paris
- Hiller, K.
Münzer, U.
- Bodvarsson, G. (1961) Physical characteristics of natural heat resources in Iceland. - Jökull, AR 11, pp. 29-38, Reykjavík
- Bodvarsson, G. (1961) Exploration of subsurface temperature in Iceland. - Jökull, AR 11, pp. 39-48, Reykjavík
- Pálmason, G.

- Bodvarsson, G.
Zoega, J. (1961) Production and Distribution of Natural Heat for Domestic and Industrial Heating in Iceland. - Jökull, AR 11, pp. 48-55, Reykjavík
- Bohonos, B. (1980) Ergebnisse der Anwendung von Orthophototechnik zur Herstellung der großmaßstäblichen Strichkarten. - International Archives of Photogrammetry, Bd. XII, Teil B 4, Komitee für den XIV Intern. Kongress für Photogrammetrie Hamburg, S. 073-081, Bonn
- Brinkmann, R. (1967) Abriss der Geologie. - Bd. I, F. Enke Verlag, 268 S., Stuttgart
- Bullard, E.C.
Everett, J.E.
Smith, A.G. (1965) The fit of the continents around the Atlantic. - Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., A 258, pp.41-51, London
- Bunsen, R.W. (1847) Physikalische Beobachtungen über die hauptsächlichsten Geysire Islands. - Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. 72, S. 159-170, Leipzig
- Carlé, W. (1956) Stockwerke und Wanderwege von Mineralwässern in Franken. - Zeitschrift d. deutsch geol. Ges., Jahrg. 1954, Bd. 106, S. 118 - 130, Hannover
- Carlé, W. (1975) Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa - Geologie, Chemismus, Genese. - Wissenschaftl. Verlags-ges. Stuttgart, XXIV, 634 S., Stuttgart
- Carlé, W. (1980) Dampfquellen, Thermalwässer und Säuerlinge in Island. - Geol. Jb., C 26, S.3-125, Hannover
- Carmichael, J.S.E (1964) The Petrology of Thingmúli, a Tertiary Volcano in Eastern Iceland.- Journ. of Petrol., vol. 5 (3), pp.435-460, Oxford
- Daubrée, A. (1880) Synthetische Studien zur Experimentalgeologie, Braunschweig

- Drexler, O. (1977) Einfluß von Petrographie und Tektonik auf die Gestaltung des Talnetzes im oberen Rißbachgebiet (Karnwendelgebirge, Tirol). - Diss., Univ. München, 213 S., München
- Drury, S.A. (1987) Image Interpretation in Geology. - Allen & Unwin Ltd., 243 pp., Hemel Hempstead
- Edmond, J.M
v. Damm, K. (1983) Heiße Quellen am Grund der Ozeane.-In: Ozeane und Kontinente, Spektrum der Wissenschaft, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, S. 216-229, Heidelberg
- Einarsson, P.
Björnsson, S. (1979) Earthquakes in Iceland.-Jökull, AR 29, pp. 37-43, Reykjavík
- Einarsson, P.
Eiriksson, J. (1982) Earthquake Fractures in the Districts Land and Rangarvellir in the South Iceland Seismic Zone. - Jökull, AR 32, pp. 113-120, Reykjavík
- Einarsson, Th. (1960) Geologie von Hellisheidi (Südwest-Island). - Sonderveröffentlichung des Geol. Inst. d. Universität Köln, Nr. 5, W. Stollfuss Verlag, 55 S., Bonn
- Everts, P. (1975) Die Geologie von Skagi und der Ost-Küste des Skagafjords (Nord-Island). - Sonderveröffentlichung des Geol.Inst. d. Universität Köln, Nr. 25, W. Stollfuss Verlag, 114 S., Bonn
- Faust, H. (1980) Orthocomp Z-2, der analytische Orthoprojektor von Carl Zeiss. - International Archives of Photogrammetry, Bd. XII, Teil B 2, Komitee für den XIV Intern. Kongress für Photogrammetrie Hamburg, S. 61-71, Bonn
- Faust, H. (1984) Methods and Instruments for the Production of Photo Maps. - BUL, 52, Heft 3a, S. 187-193, Karlsruhe
- Fresenius, W.
Quentin, K.-E. (1970) Untersuchung der Heil- und Mineralwässer, Handbuch der Lebensmittelchemie, Teile 1 u. 2, Springer-Verlag, S. 862-1042, Berlin-Heidelberg-New York-Tokio
- Fridleifsson, I.B. (1979) Geothermal activity in Iceland.- Jökull, AR 29, pp. 47-56, Reykjavík

- Georgsson, L. (1984) Geothermal Exploration
Jóhannesson, H. of the Reykholt Thermal System in
Gunnlaugsson, E. Borgarfjörður, West Iceland.- Jökull,
Haraldsson, G. AR 34, pp. 105-115, Reykjavík
- Gerke, K. (1978) Geodätische Lagemessungen zur
Möller, D. Bestimmung horizontaler Krustenbewe-
Ritter, B. gungen in Nordost-Island. - Sonder-
druck aus: Festschrift für Walter
Höpcke zum 70. Geburtstag, Nr. 83, 33
S., Hannover
- Gierloff-Emden, H.G. (1978) Anwendungen von Satelliten- und
Wieneke, F. Luftbildern zur Geländedarstellung in
topographischen Karten und zur boden-
geographischen Kartierung. - Münchner
Geographische Abhandlungen, Geogra-
phisches Institut der Universität
München, Bd.20, 69 S., Kommissionsver-
lag Geographische Buchhandlung,
München
- Gudmundsson, A. (1980) The Vogar fissure swarm,
Reykjanes Peninsula, SW-Iceland. -
Jökull, AR 30, pp. 43-64, Reykjavík
- Gustafson, G.C. (1973) Quantitative Investigation of
the Morphology of Drainage Basins
using Orthophotography.- In: Münchner
Geographische Abhandlungen, Geogra-
phisches Institut der Universität
München, Bd. 11, 162 S., Kommissions-
verlag Geographische Buchhandlung,
München
- Hajash, A. (1975) Hydrothermal Processes along
Mid-Ocean Ridges - An experimental
investigation. - Contrib.: Mineral
Petrol., vol. 53, Springer-Verlag, pp.
205-226, Berlin-Heidelberg-New York
- Hajash, A. (1981) An experimental investigation
Chandler, G.W. of high-temperature interactions
between seawater and rhyolite,
andesite, basalt and peridotite.-
Contrib.: Mineral Petrol., vol. 78,
Springer-Verlag, pp. 240-254, Heidel-
berg-New York-Tokio
- Hellmeier, H.J. (1982) Deformationsbestimmung der Erd-
Wendt, K. oberfläche auf Grund photogrammetri-
scher und geodätischer Daten. -
BUL, 50, Heft 5, S. 173-180, Karlsruhe

- Henkel, J. (1982) Usage of desktop computer systems for geophotogrammetric interpretation of image data.- IEEE-IGARRS, WP-5.4, 3 S., München
- Hill, R.T. (1915) Texas Lineament -The Tertiary Orogeny of the North American Cordillera. - Dana Commemorative Lectures, New Haven
- Hjartarson, A. (1979) Explanatory Notes on the International Hydrogeological Map of Europe 1:500.000, Sheet B 2, Iceland.-Orkustofnun, Reykjavik
- Hjartarson, A. (1981) Saline Groundwater and Seawater Intrusions in Iceland.- Náttúrufræðingurinn 51 (3), pp. 116-122 , Reykjavik
- Hobbie, D. (1980) Die Bedeutung des Zeiss-Planicomp für die photogrammetrische Praxis. - International Archives of Photogrammetry, Bd. XII, Teil B 4, Komitee für den Intern. Kongress für Photogrammetrie Hamburg, S. 331-341, Bonn
- Hobbs, W.H. (1904) Lineaments of the Atlantic border region. - Geol.Soc. Am. Bull., vol. 15, pp. 483-506 , Baltimore
- Hobbs, W.H. (1911) Repeating Patterns in the Relief and the Structure of the Land. - Geo. Soc.Am. Bull., vol. 22, 123 pp. Boulder, Col.
- Hobbs, W.H. (1912) Earth features and their meaning. - Macmillan Co., 506 pp., New York
- Horton, R.E. (1945) Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. - Bulletin of the Geol. Society of America, vol. 56, pp. 275-370, Washington, D.C.
- Höll, K. (1964) Die heißen Quellen und Geysire des Yellowstone National Park. - Heilbad und Kurort, Nr. 16, S.119-125 , Gütersloh

- Höll, K. (1969) Interessante heiße Quellen im mediterranen und atlantischen Raum. - Heilbad und Kurort, Nr. 21, Bd. 5, S. 9-14, Baden-Baden
- Höll, K. (1971) Die heißen Quellen und Geysire Islands, ihre chemische Beschaffenheit und Verwendbarkeit. - Berichte aus der Forschungsstelle Nedri As, Nr. 6, 47 S., Hveragerdi
- Höll, K.
Münzer, U. (1975) Islands Ölkelda (Mineralquellen), ihre Beschaffenheit und gesundheitliche Bedeutung. - Berichte aus der Forschungsstelle Nedri As, Nr. 19, 50 S., Hveragerdi
- Höll, K. (1986) Wasser-Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Biologie. - 7. Aufl., 592 S., Walter de Gruyter, Berlin-New York
- Hölting, B. (1959) Vulkanisch beeinflusste Grundwässer in El Salvador (Zentralamerika). - Neues Jb. Geol. u. Paläontol., Jahrg. 1959, Schweizerbartsche Verlagshandlung, S. 461-469, Stuttgart
- Hölting, B. (1984) Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. - 2. Aufl., F. Enke Verlag, 370 S., Stuttgart
- Humlum, J. (1935) Hveradalir in Kerlingarfjöll, Iceland. - Geogr. Tidsskr. 38 (1/2)
- Hütter, L.A. (1984) Wasser und Wasseruntersuchungen - Laborbücher - Chemie. - Verlag M. Diesterweg, Otto Salle Verlag, Verlag Sauerländer, 334 S., Frankfurt a. Main
- Jakobsson, S.P. (1979) Petrology of recent basalts of the Eastern volcanic zone, Iceland. - Acta Naturalia Islandica, 2 (26), 103 pp., Reykjavík
- Jaskolla, F. (1978) Geologisch-Tektonische Untersuchungen an Satellitenbildern in den nördlichen Kalkalpen. - Diss., Univ. München, 118 S., München

- Jaskolla, F. (1986) Radaraufnahmen der Erdoberfläche aus dem Weltraum - Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen in der Geologie sowie Anforderungen an zukünftige Systeme. - Habilitationsschrift, Univ. München, 281 S., München
- Jefferis, R. (1979) Fracture analyses near the Mid-Ocean Plate boundary, Reykjavík-Hvalfjörður area, Iceland. - Dept. of Geosciences, Pennsylvania State University, 108 pp., Pennsylvania
- Voight, R.
- Jóhannesson, H. (1982) Jarðfraedi Snæfellsnes.- Arbók Ferðafélag Islands, Reykjavík
- Jónsson, J. (1981) Jarðhiti og Ölkeldur í Skaftafellstingi. - Orkustofnun, OS 81011/JHD 07, 27 pp., Reykjavík
- Kampe, R. (1940) Geologie und Naturgeschichte der Mineralwässer und Moore. - In: Vogt H., Lehrbuch der Bäder- und Klimaheilkunde, I. Teil, Springer-Verlag, S. 1-57, Berlin
- Knetsch, G.
- Kampe, R. (1962) Hydrologie der Heilquellen. - In: Amelung W., Evers A., Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde, Schattauer, S. 29-44, Stuttgart
- Kaufmann, H. (1986) Rechnergestützte methodische Untersuchungen multispektraler und multitemporaler Satellitenbilddaten (Landsat/HCM) für geol. Fragestellungen am Beispiel Anti-Atlas Marokko. - Diss., Univ. München, 157 S., München
- Kjartansson, G. (1945) Vatnfallategundir. - Náttúrufræðingurinn 15, árg, pp. 113-126, Reykjavík
- Klein, F.W. (1977) The Reykjanes Peninsula, Iceland, earthquake swarm of Sept. 1972 and its tectonic significance. - Journ. of Geophys. Res., vol. 82, pp. 865-888, Richmond
- Einarsson, P.
- Wyss, M.
- Knebel, W.v. (1912) Island eine naturwissenschaftliche Studie. - Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, 290 S., Stuttgart
- Reck, H.

- Kohlhammer, G. (1986) Anwendungsoptimierte Bildverarbeitung von Fernerkundungsdaten und aeromagnetischen Daten im Hinblick auf die Grundwasserprospektion im Sahel Burkina Fasos. - Diss., Univ. München, 158 S., München
- Konecny, G. (1984) Photogrammetrie. - Walter de Gruyter, 392 S., Berlin-New York
- Lehmann, G.
- Kraft, M. (1984) Führer zu den Vulkanen Europas. - F. Enke Verlag, 133 S., Stuttgart
- Kraus, K. (1984) Photogrammetrie. - Ferd. Dümmler's Verlag, Bd. 1, 2, 7864, 7865, Bonn
- Kronberg, P. (1984) Photogeologie. - F. Enke Verlag, 268 S., Stuttgart
- Kronberg, P. (1985) Fernerkundung der Erde. - F. Enke Verlag, 286 S., Stuttgart
- Krug v. Nidda, O.L.C. (1836) Über die Mineralquellen auf Island. - (Karstens) Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde, Bd. 9, S. 247-284, Berlin
- Larsen, G. (1979) Um aldur Eldgjáhrauna. - Náttúrufræðingurinn, 49 (1), pp. 1-26, Reykjavík
- Lattmann, L.H. (1958) Technique of mapping geologic fracture traces and lineaments on aerial photographs. - Photogrammetric Engineering, vol. 24, pp. 568-576, Falls Church, Va.
- Lillesand, T.M. (1979) Remote Sensing and Image Interpretation I. - Wiley & Sons, 612 pp., New York
- Kiefer, R.W.
- List, F. (1969) Quantitative Erfassung von Kluftnetz und Entwässerungsnetz aus dem Luftbild. - BUL, 37, Heft 4, S. 134-140, Karlsruhe
- List, F. (1970) Photogeologische Untersuchungen über Bruchtektonik und Entwässerungsnetz im Präkambrium des nördlichen Tibesti-Gebirges, Zentral Sahara. - Geol. Rundschau, 59, S.228-256, Stuttgart

- Lo, C.P. (1986) Applied Remote Sensing. - Langman Scientific & Technical Langman House, 393 pp., Harlow
- Mangelsdorf, J.
Scheurmann, K. (1980) Flußmorphologie - Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure.- Oldenbourg Verlag, 262 S., München-Wien
- Mielke, U. (1975) Medizinisch begründete Grenzkonzentration bei Trinkkuren mit Heilwässern. - Zeitschr. angew. Bäder- und Klimaheilk., 22, S.3-12, Stuttgart
- Mottl, M. (1983) Metabasalts, axial hot springs, and the structure of hydrothermal systems at mid-ocean ridges. - Geological Soc. of Am. Bull., vol. 94, pp. 161-180, Baltimore
- Möller, D. (1980) Geodätische Messungen in Nordost-Island - Ein Beitrag zur Bestimmung rezenter Krustenbewegungen. - Berliner Geowiss. Abhandl., Reihe A; Bd. 19, Intern. Alfred-Wegener-Symp. IAWS 1980, Verlag Dietrich Reimer, S. 150-152, Berlin
- Murawski, H. (1983) Geologisches Wörterbuch. - F. Enke Verlag, 281 S., Stuttgart
- Münzer, U. (1985) Iceland - Volcanoes, Glaciers, Geysers -. - Atlantis Verlag, 192 pp., (Englische u. Deutsche Auflage), Herrsching, Luzern
- Münzer, U.
Bodechtel, J. (1980) Digitale Verarbeitung von Landsat-Daten über Eis- und Schneegebieten des Vatnajökull (Island). - BUL, 48, S. 21-28, Karlsruhe
- Nakamura, K. (1970) En Echelon Features of Icelandic Ground Fissures. - Acta Naturalia Islandica, vol. II, 15 pp., Reykjavik
- Neumann, H. (1987) Österreichs Beitrag zur Islandforschung. - Österr. Bundesverlag Gesellschaft, 266 S., Wien
- Niemczyk, O. (1943) Spalten auf Island. - Verlag Konrad Wittwer, 180 S., Stuttgart

- Olafsson, E.
Pálsson, B. (1772) Vice - lavmand Eggert Olafsens og landphysici Biarne Povelssens Reise igiennem Island, I +II, Vindensk. Saelskab, 1042 S. und 84 S. in Dänisch, Soroe
- O'Leary, D.W.
Friedman, J.D.
Pohn, H.A. (1976) Lineament, linear, lineation, some proposed new standards for old terms. - Geol. Soc. of Am. Bul., vol. 87, pp. 1463-1469, Baltimore
- Pálmason, G. (1980) Geothermal Energy. - Náttúrufræðingurinn, 50 (3/4), pp. 147-156, Reykjavík
- Rist, S. (1956) Islenszk vötn. - Raforkumálastjóri, Vatnamaelingar, 127 pp., Reykjavík
- Rittmann, A. (1960) Vulkane und ihre Tätigkeit. - F. Enke Verlag, 335 S., Stuttgart
- Sabins, F.F. Jr. (1978) Remote Sensing, Principles and Interpretation. - W.H. Freeman and Co., 449 pp., New York
- Saemundsson, K. (1967) Vulkanismus und Tektonik des Hengill-Gebiets in Südwest-Island. - Acta Naturalia Islandica, 2 (7), 105 S., Reykjavík
- Saemundsson, K. (1967) An outline of the structure of SW-Iceland. - Iceland and Mid-Ocean Ridges, Vísindafélag Íslendinga XXXVIII, pp. 151-161, Reykjavík
- Saemundsson, K. (1972) Notes on the Geology of the Torfajökull central volcano. - Náttúrufræðingurinn, 42 (3), pp. 81-99, Reykjavík
- Saemundsson, K. (1974) Evolution of the Axial Rifting Zone in Northern Iceland and the Tjörnes Fracture Zone. - Bulletin of the Geol. Society of America, vol. 85, pp. 495-504, Washington, D.C.
- Saemundsson, K. (1978) Fissure Swarms and Central Volcanoes of the Neovolcanic Zones of Iceland. - Geol. Journ., 10, pp. 415-431, Liverpool
- Saemundsson, K. (1979) Outline of the geology of Iceland. - Jökull, AR 29, pp. 7-28, Reykjavík

- Schäfer, K. (1972) Transform Faults in Island. - Geol. Rundschau, 61 (3), F. Enke Verlag, S. 942-960, Stuttgart
- Schneider, S. (1974) Luftbild und Luftbildinterpretation. - Walter de Gruyter, 530 S., Berlin, New York
- Schneider, W. (1986) Stirbt das Wasser stirbt der Mensch. - Bastei-Lübbe Taschenbuch, Bd. 60134, 266 S., Bergisch-Gladbach
- Schutzbach, W. (1985) Island - Feuerinsel am Polarkreis -. - Ferd. Dümmler's Verlag, 3. Auflage, 272 S., Bonn
- Schwarzbach, M. (1956) Das Vulkangebiet von Hredavatn (West-Island). - Neues Jb. Geol. u. Paläontol., Abh. Bd. 104, S. 1-29, Stuttgart
- Schwarzbach, M.
Noll, H. (1971) Geologischer Routenführer durch Island. - Sonderveröffentlichung d. Geol. Inst. d. Universität Köln, Nr. 20, Stollfuss-Verlag, 105 S., Bonn
- Sederholm, J.J. (1913) Weitere Mitteilungen über Bruchspalten etc. - Bull. comm. Geol. Finlande, Nr. 37, Helsinki
- Short, N.M.
Blair, R.W. (1986) Geomorphology from Space. - NASA Scientific and Technical Information Branch, NASA SP, 486, 717 pp., Washington, D.C.
- Siegal, B.S.
Gillespie, A.R. (1980) Remote Sensing in Geology. - Wiley & Sons, 702 pp., New York
- Sigurdsson, H. (1967) Dykes, fractures and folds in the basalt plateau of western Iceland. - In: Iceland and Mid-Ocean Ridges, Vísindafélag Íslendinga XXXCIII, pp. 161-169, Reykjavik
- Sigurdsson, H. (1967) The Icelandic basalt plateau and the question of sial. - A review. - In: Iceland and Mid-Ocean Ridges, Soc. Sci. Isl., 38, pp. 32-49, Reykjavik
- Sigurdsson, H. (1970) Structural Origin and Plate Tectonics of the Snaefellsnes Volcanic Zone, Western Iceland. - Earth and Planetary Science Letters, 10, North-Holland Publishing Co., pp. 129-135, Amsterdam

- Sigurgeirsson, Th. (1981) Aeromagnetic Surveys of Iceland and its Neighbourhood. - In: Iceland and Mid-Ocean Ridges - Vísindafélag Íslandinga, pp. 91-96, Reykjavík
- Sigvaldason, G.E. (1966) Chemistry of Thermal Waters and Gases in Iceland. - Bulletin Volcanologique. Bd. 29, pp. 589-604, Neapel
- Smolka, A. (1977) Terrestrisch-photogrammetrische und Satellitenaufnahmen als Grundlage für tektonische Untersuchungen - dargestellt am Beispiel des nördl. Apennins.- Diss., Univ.München, 90 S., München
- Sonder, R.A. (1938) Die Lineamenttektonik und ihre Probleme.- Eclogae geol. Helv., Bd.31, S. 199-238, Basel
- Sonder, R.A. (1938) Zur magmatischen und allgemeinen Tektonik von Island. - Schweizerische Mineralogische u. Petrographische Mitteilungen, XVII. Band, S. 429-436, Zürich
- Sonder, R.A. (1941) Studien über heiße Quellen und Tektonik in Island. - Publikation der Stiftung "Vulkaninstitut Immanuel Friedländer", Nr.2, 132 S., Zürich
- Spickernagel, H. (1980) Hebungen und Senkungen im Nordosten von Island. - Das Markscheidewesen 87, Nr.1, Glückauf Verlag, S. 159-166, Essen
- Teichert, C. (1927) Die Klufftektonik der cambro-silurischen Schichttafel Estlands. - Geol. Rundsch., Bd. 18, 241 S., Stuttgart
- Tessensohn, F. (1976) Lineare und zentrische Elemente im geologischen Bau Islands. - Geol. Jb., 20, S. 57-95, Hannover
- Thorkelsson, Th. (1910) The hot springs of Iceland. - Det Kongelige videnskabernes Selskab Skifter, Afdeling, 7. Raekke, Bd.4, S. 185-220, Kopenhagen
- Thorkelsson, Th. (1930) Some additional notes on thermal activity in Iceland. - Soc. Sci. Isl., vol. 5, 31 pp., Reykjavík

- Thorkelsson, Th. (1940) On Thermal Activity in Iceland and Geyser Action. - Vísindafélag Íslendinga, Bd.25, 139 pp., Reykjavík
- Thoroddsen, Th. (1889) De varme kilder paa Hveravellir Island. - Ymer 9, S. 50-59, Stockholm
- Tuxen, S.L. (1938) Bemerkungen über die erneuerte Aktivität des Großen Geysir in Haukadalur. - Vísindafélag Íslendinga, Bd. 23, 25 S., Reykjavík
- Vogt, H.
Amelung, W. (1952) Einführung in die Balneologie und Medizinische Klimatologie (Bäder- und Klimaheilkunde). - Springer-Verlag, 2. Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg
- Walker, G.P.L. (1959) Geology of the Reydarfjörður Area, Eastern Iceland. - Quart. Journ. of Geol. Soc. London, vol. 114, pp. 367-393, London
- Walker, G.P.L. (1975) Excess spreading axes and spreading rate in Iceland. - Nature, 255 (N. 5508), pp. 468-471, London
- Ward, P.L. (1971) New Interpretation of the Geology of Iceland. - Bulletin of the Geological Society of America, vol. 82, pp. 2991-3012, Washington, D.C.
- Wilhelm, F. (1987) Hydrogeographie - Grundlagen der allg. Hydrogeographie.- In: Das Geographische Seminar, Verlags-GmbH Höller und Zwick, 227 S., Braunschweig
- Williams, R.S.jr.
Bödvarsson, A.
Rist, S.
Saemundsson, K.
Thórarinnsson, S. (1975) Glaciological studies in Iceland with ERTS-1 imagery. - Journ. of Glaciol., vol. 15, 73, pp. 465-466, Cambridge, USA
- Williams, R.S.jr. (1983) Satellite Glaciology of Iceland. - Jökull, AR 33, pp. 3-12, Reykjavík
- Wilson, J.T. (1973) Mantle plums and plate motions. - Tectonophysics, 19, pp. 149-164, Amsterdam
- Wollmann, E. (1940) Technische Behandlung der Heilwässer von der Quelle bis zur Verwendungsstelle. - In: Vogt H., Lehrbuch der Bäder- und Klimaheilkunde, I Teil, Springer-Verlag, S. 101-165, Berlin

- Wunderlich, H.G. (1968) Einführung in die Geologie, Bd. II, Endogene Dynamik. - Hochschultaschenbücher 341/341 a, Bibliographisches Institut, 229 S., Mannheim-Wien-Zürich
- Zörkendörfer, W. (1962) Hydrogencarbonat-Wässer, Eisen- und arsenhaltige Wässer, Jodhaltige Wässer. - In: Amelung, W., Evers, A., Handbuch der Bäder- und Klimaheilkunde, Schattauer, S. 355-393, Stuttgart
-

- Begriffsbestimmungen (1987) Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen. - Herausgegeben vom Deutschen Bäderverband e.V. u. vom Deutschen Fremdenverkehrsverband e.V., 9. Aufl., 59 S., Bonn
- Bundesgesetzblatt (1984) Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung) vom 1. Aug. 1984, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1984, Teil I, S. 1036-1046, Bonn
- Landsat (1983) Landsat Sensor Design and Operation - A Short Course for Users. - Presented by the University of California, 17/11 pp., Santa Barbara
- Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (1960) Manual of Interpretation. - American Society of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 868 pp., Falls Church, Va.,
- Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (1983) Manual of Remote Sensing. - American Society of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2nd Edition, vol. I 2132 pp., vol. II 2440 pp., Falls Church, Va.

Karten (Arbeitsunterlagen):

- Topographische Karte (Uppdráttur, Ferðafélag Islands),
M = 1:750.000, Landmaelingar Islands, Reykjavík
- Topographische Karten (Adalkort Islands, Blad 1-9),
M = 1:250.000, Landmaelingar Islands, Reykjavík
- Topographische Karten (Maelikvardi Islands, Blad 1512 I;
Blad 1613 I, II, III, IV), M = 1:50.000, Landmaelingar
Islands, Reykjavík
- Topographische Karten (Uppdráttur Islands, Blad 5, 14, 15, 25,
96, 106), M = 1:100.000, Landmaelingar Islands, Reykjavík
- Geologische Karten (Jardfraedikort Islands, Blad 1, 2, 3, 4, 5,
6, 7, 9), M = 1:250.000, Náttúrufraedistofnun Islands og
Landmaelingar Islands, Reykjavík

8. ANLAGEN

8.1 Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Mittelatlantischer Rücken mit magnetischen Anomalien und Entwicklung der Driftzone auf Island	5
Abb. 2: Geo-tektonische Karte von Island	6
Abb. 3: Lage der ausgewählten Lineament-Typen	17
Abb. 4: Ausschnitt einer Satellitenaufnahme Landsat-MSS der Eruptionsspalte Eldgjá	19
Abb. 5: Ausschnitt einer Luftbildmontage der Eruptionsspalte Eldgjá	19
Abb. 6: Schräg-Luftbildaufnahme der Eruptionsspalte Eldgjá	19
Abb. 7: Ausschnitt einer Luftaufnahme mit der Laki-Spalte	20
Abb. 8: Schräg-Luftbildaufnahme der Laki-Spalte	20
Abb. 9: Ausschnitt einer Luftaufnahme der Kraterkette bei Vatnaöldur	20
Abb. 10: Ausschnitt einer Luftbildmontage der Kraterkette Raudhólar	21
Abb. 11: Schräg-Luftbildaufnahme der Bergrücken bei Langisjór	22
Abb. 12: Ausschnitt einer Luftaufnahme der Kraterreihen Lúdentborgir-Threngslaborgir	22
Abb. 13: Ausschnitt einer Luftaufnahme mit Spalten-schwarm bei Thelstareykir	24
Abb. 14: Ausschnitt einer Luftaufnahme des Vulkangebiets an der Krafla	24
Abb. 15: geologisch-tektonische Karte aus dem Bereich Myvatn-Námafjall-Krafla	24
Abb. 16: Ausschnitt einer Luftbildmontage mit den Verwerfungen bei Thingvellir	25
Abb. 17: Schräg-Luftbildaufnahme von Fiederspalten bei Thingvellir	25
Abb. 18: Schräg-Luftbildaufnahme der Spalte Almannagjá/Thingvellir	25
Abb. 19: Ausschnitt einer Luftbildmontage mit Verwerfungen am Kaldidalur	26
Abb. 20: Schräg-Luftbildaufnahme mit Verwerfungen am Kaldidalur	26
Abb. 21: Ausschnitt von Luftaufnahmen mit Gängen in tertiären Basalten Northwest-Islands	28
Abb. 22: Schräg-Luftbildaufnahme mit Spalten und Verwerfungen bei Hredavatn	28
Abb. 23: Lineamenttektonische Skizze von Island	29
Abb. 24: Gegenüberstellung von Lineamentkarten der Halbinsel Snaefellsnes	31
Abb. 25: Ausschnitt einer Satellitenaufnahme vom Thermalgebiet Reykholt	44
Abb. 26: Ausschnitt einer TM-Szene des Hochtemperatur-Gebiets Hengill und Lage größerer Quellen mit geol. Interpretation und Ausschnitt der Abb. 27 a,b,c	50

Abb. 27:	Ausschnitt einer TM-Abspielung aus dem Bereich Hengill in verschiedenen Spektralkanälen mit struktur-geologischer Interpretation	52
Abb. 28:	Ausschnitt einer TM-Szene vom 07.09.1986 mit der Tektonik, Lage der Quellen und Grenzlinien der pH-Werte aus dem Bereich Hengill	54
Abb. 29:	Karte vom Hengill-Gebiet mit Gewässernetz, Luftbild-Lineamenten und Quellen	60
Abb. 30:	Karte vom Hengill-Gebiet mit Gewässernetz, Satellitenbild-Lineamenten und Quellen	61
Abb. 31:	Karte von Island mit Lage der geothermalen Regionen und Quellen	63
Abb. 32:	Untersuchte Quellgebiete und Probenentnahmestellen	63
Abb. 33	Ausschnitt einer TM-Szene vom 07.09.1986 vom Hengill-Gebiet mit dem Testgebiet Hengladalir-Threngsli	65
Abb. 34:	Ausschnitt einer Luftaufnahme mit Lage des untersuchten Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli (Probe 1)	65
Abb. 35:	Schräg-Luftaufnahme vom 12.08.86 mit dem Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli (Probe 1)	66
Abb. 36:	Probenentnahme am Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli (Probe 1)	66
Abb. 37:	Ausschnitt einer TM-Szene vom 03.10.84 mit der Hochtemperatur-Region Torfajökull	70
Abb. 38:	Ausschnitt einer Luftaufnahme vom Rhyolith-Gebiet am Torfajökull und Lage der Thermalquelle Stórhver (Probe 2)	70
Abb. 39:	Ausschnitt einer Landsat-MSS Szene mit den Hochtemperatur-Gebieten im Norden Islands	74
Abb. 40:	Detaillausschnitt der Landsat-MSS Szene mit Lage des Vulkanmassivs Dyngjufjöll und dem Explosionskrater Viti	74
Abb. 41:	Aufnahme des Dyngjufjöll-Massivs mit See Öskjuvatn und Explosionskrater Viti (Probe 3)	74
Abb. 42:	Ausschnitt einer Luftaufnahme mit dem Hochtemperatur-Gebiet Kerlingarfjöll und Lage der Thermalquelle Nedri Hveradalir (Probe 4)	77
Abb. 43:	Ausschnitt einer TM-Szene der Halbinsel Reykjanes und den Hochtemperatur-Gebieten	81
Abb. 44:	Schräg-Luftaufnahme der Kraftwerksanlage Svartsengi mit Probenentnahmestelle (Probe 5)	81
Abb. 45:	Ausschnitt einer Landsat-MSS Szene der Halbinsel Snaefellsnes mit Lage der untersuchten Säuerlinge und geologischer Interpretations-skizze	88
Abb. 46:	Ausschnitt einer Luftaufnahme mit Lage der Säuerlinge Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda (Probe 7) und Ölkelda Brautarholt (Probe 8)	94
Abb. 47:	Probenentnahme des Säuerlings Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda (Probe 7)	94
Abb. 48:	Probenentnahme am Säuerling Ölkelda Brautarholt (Probe 8)	97
Abb. 49:	Ausschnitt einer Luftaufnahme mit Lage der Thermalsäuerlinge von Lysuhóll	101

	Seite
Abb. 50: Probenentnahmestelle des Thermalsäuerlings Lysuhólll beim ehemaligen Schwimmbad (Probe 9)	101
Abb. 51: Bohrstelle und Auffangbecken bei der Entnahmestelle des Thermalsäuerlings Lysuhólll, Bohrung (Probe 10)	104
Abb. 52: Probenentnahmestelle am Thermalsäuerling Lysuhólll, Bohrung (Probe 10)	104
Abb. 53: Ausschnitt einer Luftaufnahme mit den Säuerlingen Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe 11) und Ölkelda Hraunhafnardalur (Probe 12)	108
Abb. 54: Lage der Probenentnahmestelle des Säuerlings Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe 11)	109
Abb. 55: Probenentnahme am Säuerling Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe 11)	109
Abb. 56: Lage der Probenentnahmestelle des Säuerlings Ölkelda in Olafsvík (Probe 14)	118
Abb. 57: Probenentnahme am Säuerling Ölkelda in Olafsvík (Probe 14)	118
Abb. 58: Lage der Probenentnahmestelle des Säuerlings Ölkelda Grundarfjörður (Probe 15)	120
Abb. 59: Lage der Probenentnahmestelle des Säuerlings Ölkelda Höfn (Probe 16)	126
Abb. 60: Probenentnahmestelle des Säuerlings Ölkelda Höfn (Probe 16)	126
Abb. 61: Ausschnitt einer TM-Szene mit Lage der Akratopege Fremriháls (Probe 17)	130
Abb. 62: Probenentnahme an der Akratopege Fremriháls (Probe 17)	130

8.2 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Auflistung der verwendeten Landsat-Szenen	12
Tab. 2: Auflistung der Lineament-Daten	34
Tab. 3: Auflistung der Gewässernetz-Daten	39
Tab. 4: Säulendiagramme der Proben 1-5 aus den Hochtemperatur-Gebieten	86
Tab. 5: Säulendiagramme der Proben 6-10 aus den Niedrigtemperatur-Gebieten (Halbinsel Snaefellsnes)	123
Tab. 6: Säulendiagramme der Proben 11-15 aus den Niedrigtemperatur-Gebieten (Halbinsel Snaefellsnes)	124
Tab. 7: Säulendiagramme der Probe 16 aus dem Niedrigtemperatur-Gebiet in Südost-Inland und der Probe 17, einer Akratopege in Südwest-Inland	133
Tab. 8: Anforderungen an Mineral- und Heilwässer	135
Tab. 9: Darstellung der Wasseranalysen der Proben 1-14 und 16 im Piper-Diagramm	136

8.3 Verzeichnis der Analysen

	Seite
Probe Nr. 1: Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli, Hengill-Gebiet	67
Probe Nr. 2: Thermalquelle Stórhver, Thermalgebiet am Torfajökull	71
Probe Nr. 3: Thermalwasser des Explosionskraters Víti in der Askja, Dyngjufjöll	75
Probe Nr. 4: Thermalquelle Nedri Hveradalir, Thermalgebiet Kerlingarfjöll	78
Probe Nr. 5: Thermalsole Kraftwerk Svartsengi, Halbinsel Reykjanes	82
Probe Nr. 6: Ölkelda Raudamelur, Snaefellsnes	92
Probe Nr. 7: Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda, Snaefellsnes	95
Probe Nr. 8: Ölkelda Brautarholt, Snaefellsnes	98
Probe Nr. 9: Ölkelda Lysuhóll auf dem Gelände des ehemaligen Schwimmbads, Snaefellsnes	102
Probe Nr. 10: Ölkelda Lysuhóll, Bohrstelle, Snaefellsnes	105
Probe Nr. 11: Ölkelda Bjarnarfosskot, Snaefellsnes	110
Probe Nr. 12: Ölkelda Hraunhafnardalur, Snaefellsnes	113
Probe Nr. 13: Ölkelda Vallnahnúkur, Snaefellsnes	115
Probe Nr. 14: Ölkelda Olafsvík, Snaefellsnes	119
Probe Nr. 15: Ölkelda Grundarfjörður, Snaefellsnes	121
Probe Nr. 16: Ölkelda Höfn, Südost-Inland	127
Probe Nr. 17: Akratopege Fremriháls, Esja-Gebirge, Südwest-Inland	131
Probe Nr. 18: Trinkwasser, Reykjavík	134

8.4 Verzeichnis der Karten

Karte 1 = Satellitenbild-Mosaik von Island (M = 1:1 Mill.)
Karte 2 = Lineament-Karte von Island (M = 1:1 Mill.)
Karte 3 = Lineament-Rosen von Island (M = 1:1 Mill.)
Karte 4 = Hydrogeologische Karte von Island (M = 1:1 Mill.)
Karte 5 = Gewässernetz-Rosen von Island (M = 1:1 Mill.)
Karte 6 = Orthophoto aus dem Testgebiet Hengladalir-Threngsli (M = 1:5000)

A N H A N G

CHEMISCHE BESTANDTEILE DER UNTERSUCHTEN ISLANDISCHEN WASSER

Nachstehend werden die Eigenschaften der wichtigsten chemischen Hauptbestandteile und der besonders wirksamen Bestandteile von Mineralquellen, Säuerlingen und Akratopegen behandelt. Ferner werden kurz die möglichen Heilindikationen der verschiedenen Wassertypen erörtert.

a) Calciumhaltige Wässer

Angesichts des Aufbaus Islands aus überwiegend basaltischen Gesteinen (Tholeyiten, Übergangs-Alkali-Basalten und Alkali-Olivin-Basalten), den verhältnismäßig wenigen sauren Gesteinen, Differentiaten oder Assimilationsprodukten war mit einem stärkeren Auftreten von calciumhaltigen Wässern nicht zu rechnen.

Und doch konnten bei mehreren Quellen wie der Ölkelda Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1) mit 100,8 mg Ca^{2+}/kg , der Thermalquelle Nedri Hveradalir (Probe Nr. 4) mit 153,0 mg Ca^{2+}/kg , der Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda (Probe Nr. 7) mit 284,0 mg Ca^{2+}/kg und der Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) mit 243,0 mg Ca^{2+}/kg , der Ölkelda Vallnahnúkur (Probe Nr. 13) mit 102,0 mg Ca^{2+}/kg unerwartet hohe Werte festgestellt werden, die z. T. über dem Mindestwert von 150 mg/kg liegen (Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser, 1984). Bei den aufgeführten Quellen beträgt der prozentuale Anteil ($\text{mval \%} = \text{c}(\text{eq})\%$) über 20, dem Grenzwert für die Klassifizierung der Wässer. Als Sonderfall ist die Thermalsole Svartsengi (Probe Nr. 5) anzusehen, die sich durch einen sehr hohen Calcium-Gehalt von 1110,0 mg/kg auszeichnet. Der $\text{mval \%}$ -Anteil beträgt jedoch nur 11,7.

Diese Werte sind in Anbetracht der meist kalkarmen Trinkwässer in Island von Bedeutung. Calcium ist ein lebensnotwendiges Element, wichtig für den Aufbau und die Erneuerung der Knochen, die Bildung und den Erhalt der Zähne. Es fördert die Nerven- und Muskelaktivität und beschleunigt die Blutgerinnung. Zudem wirkt es krampfaufhebend, entzündungswidrig und leicht diuretisch, d.h. ausschwemmend. Der Tagesbedarf beläuft sich auf 800 mg im Normalfall, bei Schwangerschaft und altersbedingten Beschwerden liegt er höher (Hütter 1984).

Eine Heilanzeigen ist gegeben bei Calcium-Mangelerkrankungen, die vor allem durch kalkarme Ernährung ausgelöst werden. Hierzu gehören Erkrankungen der Herzkranzgefäße, die gerade in den nordischen Ländern häufig auftreten, da dort das Trinkwasser infolge der geologischen Bedingungen sehr kalkarm sein kann. So ist z.B. laut Statistik der Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Zahl der Sterbefälle durch Calcium-Mangel in Norwegen um 20 % höher als in Ländern mit hartem, kalkreichem Trinkwasser.

Weitere Mangelkrankheiten sind Knochenerweichung bei Erwachsenen (Osteomalazie), Knochenschwund (Osteoporose) und Knochenbrüchigkeit (Osteopsathyrose) sowie Hautallergien, insbesondere Nesselausschläge. Die entzündungswidrigen Eigenschaften des Calciums wirken sich günstig auf Erkrankungen des Magen- und Darmtrakts aus und können u.a. Sodbrennen oder Schleimhautentzündungen beheben bzw. erleichtern. Calcium-Säuerlinge mit einem hohen Kohlensäuregehalt schließlich regen den Harnfluß an und damit die Nierentätigkeit.

b) Magnesiumhaltige Wässer

Auch Magnesium ist ein lebensnotwendiges Element, das den Knochenaufbau beeinflusst und an vielen Stoffwechselreaktionen, z.B. des Kohlenhydrat- und Eiweißstoffwechsels, beteiligt ist. Magnesium wirkt auf die Muskeltätigkeit ein, insbesondere die Herzmuskeltätigkeit sowie auf die Blutgerinnung. Pro Tag benötigt der menschliche Körper 300 bis 400 mg (Schneider 1986).

Ernährungsmäßig hat in den letzten Jahrzehnten Magnesium an Bedeutung für die Gesundheit gewonnen angesichts der heute stark fettreichen Kost, die zu Mangelerkrankungen führen kann (Hütter 1984).

So könnte der beachtliche Magnesium-Gehalt der Ölkeldur Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1) mit 102,85 mg Mg^{2+} /kg und Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) mit 170,2 mg Mg^{2+} /kg von großem Nutzen sein, zumal auch ihre Calcium-Werte hoch sind. Die Richtzahl bei Trinkwasser beträgt nach der EG-Richtlinie 30 mg Mg^{2+} /kg (Hölting 1984, Hütter 1984) und der Mindestwert nach der deutschen Verordnung von 1984 50 mg/kg.

Anwendungsgebiete für Trinkkuren sind Herz-Kreislauf-Störungen, Krämpfe der Herzkranzgefäße und Herzinfarkt, aber auch andere Muskelkrämpfe; Behebung eines Magnesiumdefizits, das bei verschlepptem Diabetes (Zuckerkrankheit) auftreten kann wie auch im Gefolge von Niereninsuffizienz. Magnesiumreiche Wässer helfen Stress abzubauen und sind u.a. für Leistungssportler zu empfehlen (Amelung, Evers 1962, Hütter 1984).

c) Eisenhaltige Wässer

In Island ist der Anteil von Eisen in den Basalten relativ hoch. Hajash (1975) gibt bei einem Basalt 8,87 % FeO an, Jakobsson (1979) bestimmt den Anteil von FeO an tholeyitischen Serien in Island zwischen 7,16 und 12,23 %, an den Alkali-Olivin-Basalten auf den Vestmannaeyjar-Inseln mit 10,10 % FeO.

Das Schwermetall spielt als Bauelement für Organismen eine sehr wichtige Rolle; es ist Bestandteil des Blutfarbstoffes (Hämoglobin) und trägt damit zur Blutbildung bei. Überdies ist Eisen am Sauerstofftransport beteiligt. Die von Erwachsenen täglich benötigte Zufuhr beträgt 6-10 mg Fe²⁺ (Höll 1986, Schneider 1986). Hütter (1984) nennt einen Tagesbedarf von 5-20 mg Fe²⁺.

Nach Hildebrandt (1985/86) ist es von besonderer Bedeutung, daß das Eisen in Mineralwässern als zweiwertiges Eisen auftritt, d.h. in der Form, in der es allein resorbiert, also aufgenommen werden kann. Da es bei Verbindung mit der Luft und bei entweichender Kohlensäure leicht oxidiert, ist eine direkte Nutzung am Quellort wichtig.

Einige der untersuchten isländischen Quellen weisen hohe Fe²⁺ Werte auf wie z.B. die Thermalquelle Stórhver (Probe Nr. 2) mit 72,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 12,17 mval % = c(eq)%, die Ölkeldur Brautarholt (Probe Nr. 8) mit 44,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 2,3 mval % = c(eq)% und Hraunhafnardalur (Probe Nr. 12) mit 82,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 14,0 mval % = c(eq)%. Bei den Akratopegen ist besonders Fremriháls (Probe Nr. 17) mit 24,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 50,2 mval % = c(eq)% zu nennen und als eisenhaltiges Natrium-Calcium-Sulfat-Thermalwasser das des Explosionskraters Víti (Probe Nr. 3) mit 31,0 mg Fe²⁺/kg bzw. 3,78 mval % = c(eq)%.

Hauptindikation für Trinkkuren mit eisenhaltigen Wässern ist die Anämie (Blutarmut) in ihren verschiedenen Formen, vor allem die primäre Eisenmangelanämie, aber auch die perniziöse Anämie, Leukämie (Bluterkrankung mit Vermehrung der weißen Blutkörperchen) oder Vitamin B₁₂-Mangel. Auch Eisenmangel-Erscheinungen während der Schwangerschaft gehören hierher - sowie die Minderung der Leistungsfähigkeit, Müdigkeit, Infektanfälligkeit etc.

Bei einer Bäderbehandlung, insbesondere mit Eisen-Sulfat-Wässern wie dem der Víti ist eine adstringierende therapeutische Wirkung des zweiwertigen Eisens gegeben, d.h. eine zusammenziehende Wirkung. Anwendungsgebiete sind katarrhalische Erscheinungen oder Normalisierung der Magensekretion (Hildebrandt 1985/86).

d) Sulfathaltige Wässer

Die konzentrierten Sulfat-Wässer sind in Island magmatischen Ursprungs und im allgemeinen an die neo-vulkanische Zone mit ihren Hochtemperatur-Gebieten gebunden. Carlé (1980) vermerkt zu den Sulfat-Wässern, daß der Schwefel aus einer Restphase der Tätigkeit unterirdischer Magmenkammern stammen müsse. Er spricht von Tiefenherden und Vulkanplutonen, wie sie gerade in der aktiven Vulkanzone Islands zu finden sind.

Der geringe Sulfat-Gehalt bei Quellen außerhalb der Vulkanzone kann von Feldspäten stammen, die in submarinen Laven gebildet wurden, da der juvenile Schwefel unter Wasser schlechter abgasen kann als subaerisch (Carlé 1980).

Die Zahl der Wässer, bei denen das Sulfat unter den Anionen eindeutig vorherrscht, ist in der Regel relativ gering (Hildebrandt 1985/86). Dennoch fallen drei der untersuchten isländischen Wässer in diese Kategorie: das Thermalwasser der Stórhver (Probe Nr. 2) mit einem Gehalt von 966,0 mg SO_4^{2-} /kg bzw. 94,80 mval % = c(eq)%, das Wasser des Explosionskraters Viti (Probe Nr. 3) mit 1150,0 mg SO_4^{2-} /kg bzw. 81,06 mval % = c(eq)% und der Thermalquelle Nedri Hveradalir (Probe Nr. 4) mit 678,0 mg SO_4^{2-} /kg bzw. 89,38 mval % = c(eq)%.

Auch Bruun (1945) fand bei einer Solfatare im Ostteil des Námafjall einen hohen Sulfat-Gehalt von 4023 mg/kg.

Zu den schwefelhaltigen Wässern mit niedrigeren Werten gehören die Ölkelda Raudamelur (Probe Nr. 6), die als Akratopege einen Gehalt von 15,5 mg SO_4^{2-} /kg bzw. 22,30 mval % = c(eq)% aufweist sowie die Ölkelda Höfn (Probe Nr. 16) mit 431,6 mg SO_4^{2-} /kg bzw. 25,3 mval % = c(eq)%. Gewisse Sulfatmengen enthalten ferner die Wässer der Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda (Probe Nr. 7) mit 30,0 mg SO_4^{2-} /kg und die jodhaltige Calcium-Natrium-Chlorid-Ölkelda Brautarholt (Probe Nr. 8) mit 215,8 mg SO_4^{2-} /kg.

Die Nomenklatur der Heilwässer weist folgende Typen bei den Sulfat-Wässern aus: Natrium-Sulfat- und Magnesium-Sulfat-Wässer, die beide nicht oft vorkommen. Zusätzlich gibt es seltene Eisen- und Aluminium-Sulfat-Wässer (Högl 1986).

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die Natrium-Sulfat-Gruppe mit der Ölkelda Höfn (Probe Nr. 16) in Island vertreten ist sowie Natrium-Calcium-Sulfat-Wässer mit der Thermalquelle Stórhver (Probe Nr. 2) und dem Thermalwasser Nedri Hveradalir (Probe Nr. 4). Bei letzterer überwiegt der Calcium-Gehalt.

Die extrem sauren, stark sulfathaltigen Wässer haben - wie die Untersuchungen ergaben - pH-Werte zwischen 4,2 und 4,5. Carlé (1980) nennt Werte von 2,1 bis 5,0. Bei allen Proben fehlen die Carbonat- und Hydrogencarbonat-Ionen; Chlorid-Ionen sind meist nur gering vorhanden (Thermalwasser Stórhver, Probe Nr. 2 und Thermalquelle Nedri Hveradalir, Probe Nr. 4). Die Werte des Thermalwassers Víti (Probe Nr. 3) mit 198,0 mg Cl-/kg dürfen als Ausnahme zählen. Auch in den vulkanischen Regionen von El Salvador wurde von Hölting (1959) ein meist geringer Chlorid-Gehalt bei derartigen Wässern festgestellt. Außerdem ist Eisen relativ stark vertreten, so bei dem Thermalwasser Víti (Probe Nr. 3) mit 31,0 mg Fe²⁺/kg, der Thermalquelle Stórhver (Probe Nr. 2) mit 72,0 mg Fe²⁺/kg, obwohl dies nicht immer der Fall sein muß, wie die Analyse der Thermalquelle Nedri Hveradalir (Probe Nr. 4) mit 0,5 mg Fe²⁺/kg zeigt.

Die Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser vom 01.08.1984 nennt einen Grenzwert von 240 mg SO₄²⁻ /l.

Schwefel hat einen großen Gesundheitswert. So tragen Sulfatwässer zur Sekretionssteigerung der Leber, der Cholerese, bei und fördern den Gallenfluß bzw. die Gallenproduktion. Dies gilt für alle Sulfatwässer, die Natrium-Sulfat-, die Calcium-Sulfat- und die Magnesium-Sulfat-Wässer in gleicher Weise, auch bei schwächeren Sulfatkonzentrationen. Starke Sulfat-Wässer haben eine konstante cholagoge Wirkung, d.h. sie steigern die Gallenabgabe der Gallenblase. Sie sorgen für die Durchspülung der Gallenwege und damit für die Entfernung kleinerer Gallensteine oder von Harnries; sie tragen zur Senkung des Cholesterinspiegels im Blut bei.

Schwefelhaltige Wässer haben zudem einen günstigen Einfluß auf die Darmflora. Calcium-Sulfatwässer zeigen eine leicht diuretische, d.h. ausschwemmende Wirkung.

Bei Bädern wird der Schwefelwasserstoff relativ leicht durch die Haut aufgenommen. Er löst Hautreize aus, wie z.B. eine Steigerung der Hautdurchblutung (Hildebrandt 1985/86).

Therapeutische Anwendungsmöglichkeiten für Trinkkuren mit sulfathaltigen Wässern sind gegeben bei chronischen Gallenleiden wie Cholezystitis (Entzündung der Gallenblase als Folge einer Entzündung der Gallenwege), Cholezystopathie (chronische Gallenblasenentzündung) (Mielke 1975), bei der Bildung von kleinen Gallensteinen und Harnries; bei chronischen Magenschleimhautentzündungen und katarrhalischen Darmerkrankungen sowie Obstipation (Verstopfung), Fettsucht (Adipositas) und Gicht. Insbesondere Natrium-Sulfatwässer oder Glaubersalzwässer haben auf die Leber einen günstigen Einfluß, so bei chronischer Stauungsleber oder chronischer Hepatitis (Leberentzündung) (Hütter 1984, Hildebrandt 1985/86, Schneider 1986).

Heilanzeigen für Schwefelbäder sind rheumatische Leiden, einige Kreislauferkrankungen und Ekzeme (Höll 1986).

e) Hydrogencarbonat-Wässer

Die Hydrogengencarbonat-Werte der untersuchten isländischen Quellen sind zum größten Teil sehr hoch und überraschen angesichts der Tatsache, daß es sich hier um ein vulkanisches Land mit vorwiegend magmatischem Gestein handelt.

Nach Carlé (1980) enthalten viele Quellen in Island mehr als 50-70 mval % = c(eq)% Hydrogencarbonat - eine Feststellung, die durch die eigenen Untersuchungen bestätigt wird; die Werte reichen von 62,2 mval % = c(eq)% bis zu 97,14 mval % = c(eq)% (Ölkeldur Höfn und Vallnahnúkur, Proben Nr.16 bzw.13). Bei 8 der analysierten Quellen wurden Hydrogencarbonat-Konzentrationen ermittelt, die über 1000 mg/kg liegen, drei davon weisen mehr als 2000 mg HCO₃-/kg auf. Nach der Mineral-Quell- und Tafelwasserverordnung vom 01.08.1984 darf sich in der BRD ein Wasser "bicarbonathaltig" nennen, wenn der Hydrogencarbonat-Gehalt mehr als 600 mg/kg beträgt.

Hildebrandt (1985/86) unterscheidet 2 Hauptgruppen, die Natrium-Hydrogencarbonat-Wässer und die Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Wässer.

Bei der ersten Gruppe handelt es sich um Wässer mit stark alkalischem Charakter, wie z.B. das Fachinger Wasser (1348 mg Na⁺/kg und 4000 mg HCO₃-/kg bei einer Gesamtmineralkonzentration von 6154 mg/kg).

Zu den Natrium-Hydrogencarbonat-Wässern auf Island gehören die von Lysuhóll auf dem Gelände des früheren Schwimmbads (Probe Nr. 9) mit 600 mg Na⁺/kg bzw. 91,0 mval % = c(eq)% und 1562,0 mg HCO₃-/kg oder 88,5 mval % = c(eq)% sowie auf der Bohrstelle Lysuhóll (Probe Nr. 10) mit 640 mg Na⁺/kg bzw. 73,6 mval % = c(eq)% und 2111,3 mg HCO₃-/kg bzw. 91,5 mval % = c(eq)%; das Wasser der Ölkelda Hraunhafnardalur (Probe Nr. 12), die einen Gehalt von 380,0 mg Na⁺/kg bzw. 79,1 mval % = c(eq)% und 1205,0 mg HCO₃-/kg oder 95,0 mval % = c(eq)% aufweist.

Übergangsarten sind das Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser der Ölkelda am Bauernhof Ölkelda (Probe Nr. 7) mit 630,0 mg Na⁺/kg bzw. 57,5 mval % = c(eq)% und 2447,0 mg HCO₃-/kg bzw. 84,4 mval % = c(eq)%, das Natrium-Calcium-Hydrogencarbonat-Wasser der Ölkelda Vallnahnúkur (Probe Nr. 13) mit einem Natriumwert von 370,0 mg/kg bzw. 64,60 mval % = c(eq)% und einem Hydrogencarbonatgehalt von 1476,2 mg/kg bzw. 97,14 mval % = c(eq)% sowie das Natrium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Wasser der Ölkelda Höfn (Probe Nr. 16) mit 610 mg Na⁺/kg bzw. 74,2 mval % = c(eq)% und 1348,5 mg HCO₃-/kg bzw. 62,2 mval % = c(eq)%.

Bei der Kategorie der Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Wässer weist Hildebrandt (1985/86) auf ihren schwach alkalischen Charakter hin. Die Wirkung von Calcium und Magnesium macht sich stärker bemerkbar. Den ermittelten Analysenwerten zufolge ist bei den isländischen Quellen das Magnesium vorherrschend, d.h. nicht wie meist üblich das Calcium, wie z.B. bei dem Thermalsäuerling Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1), der einen Magnesiumgehalt von 102,85 mg/kg bzw. 45,6 mval % = $c(eq)\%$ und einen Calciumgehalt von 100,8 mg/kg bzw. 27,1 mval % = $c(eq)\%$ sowie einen Hydrogencarbonatgehalt von 1099,0 mg/kg oder 96,9 mval % = $c(eq)\%$ hat und bei der Ölkelda Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) mit 170,2 mg Mg^{2+}/kg , bzw. 39,2 mval % = $c(eq)\%$, 243,0 mg Ca^{2+}/kg bzw. 33,9 mval % = $c(eq)\%$ sowie 2117,4 mg HCO_3^-/kg oder 97,1 mval % = $c(eq)\%$.

Zu erwähnen sind schließlich auch die Akratopege Grundarfjörður (Probe Nr. 15), die bei den Anionen einen Hydrogencarbonatwert von 48,8 mg/kg zeigt und die Quelle Fremriháls (Probe Nr. 17) mit einem Hydrogencarbonatwert von 91,5 mg/kg.

Die wichtigste Eigenschaft von Natrium-Hydrogencarbonat-Wässern ist, daß sie Säure binden, d.h. sie senken z.B. den Säuregrad im Magensaft und haben gleichzeitig eine schleimlösende Wirkung. Die Alkalireserve des Bluts wird erhöht. Bereits Amelung und Evers (1962) haben sich mit der alkalisierenden Wirkung solcher Wässer am Beispiel Fachingen befaßt. Eine Erhöhung der Alkalireserve hat eine Senkung der Blutzuckerwerte zur Folge, so daß bei der Zuckerkrankheit die Insulintherapie wertvoll unterstützt bzw. die Insulindosis evtl. reduziert werden kann.

Der Harnsäurespiegel wird ebenfalls herabgesetzt und die Harnsäureausscheidung gesteigert.

Heilanzeigen bei Trinkkuren mit Natrium-Hydrogencarbonat-Wässern sind daher gegeben bei Gastritis (Magenschleimhautentzündung), Gastroduodenitis (Entzündung des Magens und des Zwölffingerdarms), vor allem aber bei leichtem und mittelschwerem Diabetes (Zuckerkrankheit), insbesondere bei Überdosierung von Insulin und daraus resultierender Hypoglykämie oder Unterzuckerung; ferner bei Sekretions- und Motilitätsstörungen (Absonderungs- und Bewegungsvermögen) des Magen-Darmbereichs und bei der Verhütung von Harnsäuresteinbildung (Hildebrandt 1985/86, Höll 1986).

Bei Calcium-Magnesium-Hydrogencarbonat-Wässern macht sich die entzündungshemmende Wirkung des Calcium auf die Schleimhäute und seine ausschwemmende (diuretische) Wirkung auf die Harnwege bemerkbar, während magnesiumreiche Hydrogencarbonat-Wässer (wie die Proben Nr. 1 und Nr. 11) einen blutzuckersenkenden Effekt haben.

So eignen sich für eine therapeutische Anwendung Trinkkuren insbesondere bei chronisch entzündlichen Erkrankungen des Magen-Darmtrakts und entzündlichen Krankheiten der ableitenden Harnwege sowie bei der Harnsteinbildung.

Inhalationen von hydrogencarbonathaltigen Wässern allgemein helfen bei chronisch entzündlichen Erkrankungen der Atemwege.

f) Natrium-Chlorid-Wasser

In Island zeigen die küstennah austretenden Wässer und auch die aus Bohrungen austretenden Wässer auf der Halbinsel Reykjanes eine absolute Vorherrschaft von Natrium und Chlorid, was dem nahe gelegenen Meer zuzuschreiben ist. Daß jedoch Veränderungen stattfinden, wird durch das Überwiegen von Calcium über Magnesium, durch den hohen Kieselsäure-Gehalt und die pH-Werte im sauren Bereich offensichtlich (Carlé 1980). Es wurden auch Wässer mit erhöhtem Chlorid-Gehalt gefunden, vor allem im Küstenbereich der Halbinsel Reykjanes als Thermalwässer, aber auch abseits der Küste. Carlé (1980) gibt im Torfajökull-Gebiet die Thermalquelle Eyrarhver als stark alkalisches Natrium-Chlorid-Wasser an. Diese Quelle mit 360 mg Cl-/kg ist magmatischer Provenienz, denn das Meerwasser kann sicherlich nicht so weit ins Inland eindringen und vor allem auf eine Geländehöhe von ungefähr 1000 m ansteigen. Wo höher im Gebirge chloridhaltige Wässer auftreten, kann es sich daher um Chloride vulkanisch - juveniler Abstammung handeln.

Die erhöhten Gehalte an Natrium und Chlorid der Thermalsole Svartsengi (Probe Nr. 5) sind eine Folge ihrer Nähe zum Meer; solche Meerwässer, die durch den erhöhten Wärmefluß der aktiven Vulkanzone aufgeheizt werden, stellen zudem einen besonderen Typ dar.

Die schwächer konzentrierten Natrium-Chlorid-Wässer eignen sich vornehmlich für Trinkkuren und Inhalation, während Solen bei Badekuren eingesetzt werden. Die Grenzwerte für Solen liegen laut "Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen" des Deutschen Bäderverbandes (1987) bei einem Gehalt von 5,5 g Natrium und 8,5 g Chlorid pro Kilo Wasser. Trinkkuren mit Wässern, die mehr als 2-3 g/kg Kochsalz enthalten, können zu sofortigem Brechreiz führen.

In die Gruppe der schwächer konzentrierten Kochsalzwässer fällt in Island die Ölkelda Brautarholt (Probe Nr. 8) mit einem Natrium-Gehalt von 750,0 mg/kg bzw. 47,1 mval % = $c(eq)\%$ und einem Chlorid-Gehalt von 2163,0 mg/kg bzw. 88,3 mval % = $c(eq)\%$; zu der 2. Gruppe gehört die Thermalsole Svartsengi (Probe Nr. 5) mit Konzentrationen von 7710,0 mg Na^+ /kg bzw. 70,7 mval % = $c(eq)\%$ und 16709,0 mg Cl^- /kg oder 99,4 mval % = $c(eq)\%$ sowie einem beachtlichen Calcium-Anteil von 1110,0 mg/kg bzw. 11,7 mval % = $c(eq)\%$.

Die schwächer konzentrierten Wässer wirken schleimlösend, sie regen die Magensaftsekretion an und erhöhen die Säureproduktion; sie beschleunigen die Darmpéristaltik und die Dünndarmpassage. Gleichzeitig wirken sie auf die Sekretion der Pankreas (Bauspeicheldrüse) und Leber ein und können den Harnfluß (Diurese) hemmen (Hildebrandt 1985/86).

Anwendungsbereiche für Trinkkuren sind die mit Säuremangel (Subazidität) im Magensaft verbundenen Magenenerkrankungen, wie z.B. Magenschleimhautentzündung (Gastritis) oder Entzündungen des Magens und des Zwölffingerdarms (Gastroduodenitis), Anämie (Blutarmut), die in Zusammenhang mit einer Subazidität des Magensaftes stehen etc., Stoffwechselerkrankungen wie Zuckerkrankheit (Diabetes), Fettsucht (Adipositas) und Gicht.

Für Solebäder werden in der Regel 1,5 bis 6 %ige Solekonzentrationen angewandt. Stärkere Solen werden entsprechend verdünnt. Die Bäder lösen Hautreize aus und beeinflussen das vegetative System.

Heillindikationen für Solebäder sind die entzündlichen Rheumalerkrankungen wie die Arthritiden (entzündliche Gelenkkrankheiten) und Neuralgien (Nervenschmerzen), aber auch die degenerativen Rheumaleiden, die Arthrosen, und die Wirbelsäulenerkrankungen (Spondylosen) sowie Muskelrheuma.

Seit einiger Zeit haben sich neben Schwefelbädern auch Solebäder bei der Behandlung von chronischen Hautleiden bewährt, wie Akne, Dermatitis (chronische Entzündungen der oberen Hautschichten) und Psoriasis (Schuppenflechte) etc. Bei der Sole von Svartsengi kann bei schweren Erkrankungen, wie Psoriasis, eine Allgemeineinwirkung im Sinne einer Umstimmung erreicht werden, insbesondere wenn gleichzeitig Lichttherapie mit begrenzten Sonnenbädern oder UV-Bestrahlung möglich ist.

Inhalationen von Natrium-Chlorid-Wässern sind angezeigt bei der Behandlung von Katarrhen der oberen Luftwege, vor allem wenn die Wässer höhere Calcium-Werte aufweisen, wie das bei den Proben Nr. 5 und Nr. 8 der Fall ist.

g) Kochsalzarme Wässer

Die untersuchten natriumarmen Quellen in Island sind durchweg Akratopegen, d.h. sie weisen eine nur geringe Mineralisation mit einer Summe der gelösten festen Stoffen von weniger als 500 mg/kg auf, die Temperaturen bewegen sich zwischen 6°- 9°C und in einem Fall bis 18° C, die pH-Werte reichen von 5,1 bis 6,0.

Es handelt sich um die Ölkelda Raudamelur (Probe Nr. 6) mit 24,0 mg Na⁺/kg und 10,6 mg Cl⁻/kg, die Ölkelda Grundarfjörður (Probe Nr. 15) mit einem 4,0 mg Na⁺/kg Gehalt und einem 11,3 mg Cl⁻/kg-Gehalt sowie die Quelle Fremriháls (Probe Nr. 17) mit einem Natrium-Wert von 3,0 mg/kg und einem Chlorid-Wert von 5,3 mg/kg.

Nach der Mineral-, Quell- und Tafelwasserverordnung vom 01.08.1984 sind Wässer, deren Natrium-Gehalt weniger als 20 mg/l beträgt, für natriumarme Ernährung geeignet; darüber hinaus sind für die Zubereitung von Säuglingsnahrung Wässer dann von Nutzen, wenn zusätzlich ihr Gehalt an Nitrat 10 mg/l, an Nitrit 0,02 mg/l und an Fluorid 1,5 mg/l nicht überschreitet.

In die letztere Gruppe fallen die Ölkelda Grundarfjörður (Probe Nr. 15) und die eisenhaltige Quelle Fremriháls (Probe Nr. 17). Im Mosfellsdalur bei Reykjavík wurden 2 weitere Akratopegen, und zwar bei Gljúfrasteinn und Hradastadir festgestellt, die evtl. zur Verwendung für Säuglingsnahrung geeignet wären. Gleiches gilt für eine Akratopege bei Brunnhólskirkja, Hornafjörður. Diese Quellen wurden nicht in die Arbeit aufgenommen, weil sie kaum von Bedeutung sind und nur eine sehr geringe Schüttung aufweisen.

Mineralarme Wässer mit einem niedrigen Kochsalz-Gehalt haben eine diuretische, d.h. ausschwemmende Wirkung. Ein verstärkter Harnabfluß kann u.a. auch zu einer Abnahme des Cholesterins führen. Ein therapeutischer Einsatz ist daher bei chronischen Entzündungen der harnabführenden Wege, bei der Bildung von kleinen Harnsteinen und Harnriesen etc. anzuraten. Trinkkuren werden aber auch bei Übergewicht (Adipositas) und überhöhtem Blutdruck (Hypertonie) verordnet (Höhl 1986). Die streng kochsalzarmen Wässer mit nur sehr geringem Nitrit-, Nitrat- und Fluorid-Gehalt sind insbesondere bei der Behandlung von übergewichtigen Säuglingen angezeigt, da die relativ kochsalzreiche Milch mit einem solchen Wasser verdünnt oder ganz ersetzt werden kann (Schneider 1986).

h) Jodhaltige Wässer

Nach den Untersuchungen des Jahres 1986 sind drei isländische Quellen jodhaltig und zwar die Ölkeldur Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1) mit einem Gehalt von 1,50 mg J-/kg, Brautarholt (Probe Nr. 8) mit 2,75 mg J-/kg und Bjarnarfosskot (Probe Nr. 11) mit einem Gehalt von 4,44 mg J-/kg. Ihre Jod-Werte entsprechen in etwa denen der Virgiliusquelle in Dürkheim (2,1 mg J-/kg) oder des Karlshaller Brunnen in Kreuznach (4,9 mg J-/kg), liegen aber wesentlich niedriger als die Konzentrationen der reinen Jod-Quellen, z.B. des Wassers der Adelheidquelle in Bad Heilbrunn (23,21 mg J-/kg) oder der Tölzer Quelle (41,5 mg J-/kg).

Im Gegensatz zu der Feststellung von Hildebrandt, daß Kochsalz-Wässer oder Solen in der Regel auch Jod-Quellen sind, enthält allein das Calcium-Natrium-Chlorid-Wasser der Ölkelda Brautarholt (Probe Nr. 8) Jodid mit 2,75 mg J-/kg, während die Werte der Thermalsole Svartsengi (Probe Nr. 5) lediglich bei 0,43 mg J-/kg liegen, d.h. unter dem Mindestwert für Heilwässer von 1 mg J-/kg (Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen des Deutschen Bäderverbandes, 1987). Die beiden anderen Ölkeldur (Proben Nr. 1 und Nr. 11) sind interessanterweise Hydrogencarbonat-Wässer, die ansich nach Hildebrandt nur selten einen Jod-Gehalt von mehr als 1 mg/kg aufweisen.

Jod, ein lebenswichtiges Spurenelement der Halogensgruppe, ist an der Bildung der Schilddrüsenhormone Thyroxin und Trijodthyronin beteiligt, die den Grundumsatz regeln und das Wachstum beeinflussen. Der benötigte Tagesbedarf liegt bei 50-100 µg (Mikrogramm) und ist leicht durch jodhaltige Wässer zu decken.

Jod wirkt somit direkt auf die Hormonproduktion ein und u.a. auch auf die Elastizität der Gefäßwände; es kann eine Senkung des Cholesterinspiegels und des Blutdrucks herbeiführen. Therapeutisch sind Trinkkuren bei den verschiedenen Formen der Schilddrüsenunterfunktion (Hypothyreose), wie Kropfbildung, Kräfteverfall und nervöse Spannungen angezeigt, bei Arteriosklerose sowie bei chronisch entzündlichen und degenerativen Erkrankungen des Bewegungsapparats (Hütter 1984, Hildebrandt 1985/86, Höll 1986).

1) Fluoridhaltige Wässer

In nichtsilikatischen Nebengemengteilen der Eruptiva, sind flüchtige Stoffe wie Cl- und F- in geringen Mengen chemisch gebunden. In Island waren also fluoridhaltige Wässer zu erwarten. So konnte bei dem Großen Geysir ein sehr hoher Fluorid-Gehalt von 11,1 mg/kg bzw. 4,97 mval % = $c(eq)\%$ festgestellt werden und am dicht daneben liegenden Strokkur sogar von 11,6 mg F-/kg bzw. 5,57 mval % = $c(eq)\%$ (Höll, 1971). Die vorliegenden Untersuchungen haben ergeben, daß alle analysierten Wässer einschließlich des Reykjavíker Trinkwassers ausnahmslos Fluorid-Ionen enthalten.

Bei 13 Wässern wurden geringe Werte unter 1 mg F-/kg ermittelt; sie bewegen sich zwischen 0,02 mg und 0,90 mg F-/kg. Gemäß der Mineral-, Quell- und Trinkwasserverordnung von 1984 ist ein Wasser dann als "fluoridhaltig" zu bezeichnen, wenn es einen Gehalt von mehr als 1 mg F-/kg aufweist. In diese Kategorie fallen die Ölkelda Olafsvík (Probe Nr. 14) mit 1,10 mg F-/kg und die Ölkelda Grundarfjörður (Probe Nr. 15) mit gleichfalls 1,10 mg F-/kg.

Bei den natürlichen Mineralwässern ist nach den deutschen Bestimmungen die Kennzeichnung des Mindestgehalts von 1,5 mg F-/kg und mehr erforderlich. Hierher gehören die Wässer von Lysuhóll Schwimmbad (Probe Nr. 9) und Bohrloch (Probe Nr. 10) mit Konzentrationen von 3,20 mg F-/kg bzw. 3,60 mg F-/kg. Sie sind insofern wertvoll als ihr Fluorid-Gehalt unterhalb von 5 mg /kg liegt, d.h. einem Wert, von dem ab diese Wässer nur in begrenztem Umfang getrunken werden dürfen, da zu hohe Dosen zu Gesundheitsschäden führen können, wie Knochendeformationen, Zahnschmelzverfärbung etc. (Hütter 1984, Höll 1986). Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat auf Grund einer zwanzigjährigen Studie eine angemessene Fluoridierung des Trinkwassers auf 1 mg F-/kg empfohlen, die derartige nachteilige Auswirkungen vermeidet. Der Großteil der Bevölkerung der USA erhält fluoridiertes Wasser von 1,2 mg F-/kg bis 1,3 mg F-/kg. Umstritten bleibt jedoch die Fluoridierung im EG-Raum. Die Schweiz lehnt dieses Vorgehen ab und auch die Novelle des Deutschen Lebensmittelgesetzes erlaubt derzeit keine Trinkwasserfluoridierung (Höll 1986).

Die wünschenswerte Tageszufuhr beträgt 1-2 mg F-/kg; Hütter (1984) gibt etwa 1,5 mg F-/kg an. Fluor sorgt für die Festigkeit der Zähne und der Knochen.

Anwendungsgebiete für Trinkkuren sind Zahnfäule (Karies), vor allem bei Kindern, sowie Skeletterkrankungen wie Osteoporose (Knochenbrüchigkeit), die im Klimakterium und beim Diabetes (Zuckerkrankheit) auftreten kann (Hütter 1984, Höll 1986, Schneider 1986).

1) Kohlensäure-Wässer

Im Gegensatz zu Mitteleuropa mit seinem zum großen Teil erloschenen Vulkanismus und seinen zahlreichen kohlendioxidhaltigen Quellen sind in Island Sauerlinge infolge des noch aktiven Vulkanismus weniger oft anzutreffen.

Die Kohlensäure verstärkt die Lösungsfähigkeit des Wassers und erreicht damit bei einem Gehalt von mehr als 1000 mg CO₂/kg eine stärkere Mineralisierung von Quellen postvulkanischen Ursprungs als dies bei den meist wärmeren Quellen im Bereich des aktiven Vulkanismus der Fall ist (Hildebrandt 1985/86). Hier sind vorwiegend die mineralärmeren, sogenannten "einfachen" Sauerlinge vertreten. In allen Vulkanregionen zeigt sich eine enge Wechselwirkung von Vulkanismus, Erdwärme und Kohlendioxid, obwohl eine gültige Regel über die Bindung des Kohlendioxid-Phänomens an Vulkanismus und Tektonik nicht existiert (Carlé 1975).

Nach den Begriffsbestimmungen des Deutschen Bäderverbandes müssen Sauerlinge, die als Heilwässer anerkannt werden, mindestens 1000 mg/kg freies gelöstes Kohlendioxid enthalten, während sich nach der Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser vom 01.08.1984 ein natürliches Mineralwasser dann zusätzlich als Sauerling oder Sauerbrunnen bezeichnen darf, wenn es einen natürlichen Kohlendioxidgehalt von mehr als 250 mg/l aufweist.

Diese Mindestanforderung wird von den folgenden isländischen Wässern erfüllt bzw. überschritten:

Ölkelda Raudamelur (Probe Nr. 6) mit mehr als 250,0 mg CO₂/kg, Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda (Probe Nr. 7) mit mehr als 600 mg CO₂/kg. Arnórsson, Barnes (1983) kamen hier auf Gehalte von 616 CO₂/kg bzw. 4100 CO₂/kg.

Die Ölkeldur Lysuhóll auf dem Gelände des ehemaligen Schwimmbads und der Bohrstelle ergaben jeweils mehr als 500 mg CO₂/kg (Höll, Münzer 1975).

Im Bereich des Quellareals von Bjarnarfosskot nennen Arnórsson, Barnes (1983) einen CO₂-Gehalt von 2846 mg/kg, während Höll, Münzer (1975) bei Messungen im Labor auf mehr als 600 mg CO₂/kg kamen. Ob es sich hier um die exakt gleichen Probenstellen handelt, konnte nicht festgestellt werden. Die Ölkelda Vallnahnúkur (Probe Nr. 13) ergab mehr als 588,0 mg CO₂/kg und die Ölkelda Olafsvík (Probe Nr. 14) mehr als 300,0 mg CO₂/kg, während bei letzterer Arnórsson, Barnes einen Wert von 1356 mg CO₂/kg angeben.

Die in den Analysen festgehaltenen Laborwerte bewegen sich also zwischen >250 und >600 mg CO_2/kg , dürften aber allgemein bei Messungen vor Ort höher liegen, was auch aus den Angaben von Arnórsson, Barnes zu ersehen ist.

Kohlensäure steigert die Atemfrequenz, sie regt die Magen- und Darmschleimhaut zu verstärkter Sekretbildung an und verbessert die Resorption wichtiger Nährstoffe. Außerdem verursacht sie einen erfrischenden Geschmack.

k) Kieselsäurehaltige Wässer

Der Kieselsäuregehalt natürlicher Wässer hängt stark mit der Verwitterung der Gesteine zusammen, sie enthalten etwa 5-8 mg/l Silikat, Seen oft nur 1-2 mg/l. Nach Hütter (1984) können sehr weiche Wässer, wie es oft in Island der Fall ist, bis zu 50 mg/l Silikat und mehr aufweisen. Viele Mineralwässer, vor allem aber Thermalwässer, enthalten beträchtliche Mengen von Kieselsäure, meist mehr als 100 mg $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$. Carlé (1975) erwähnt, daß auf Spalten ausgeschiedene Kieselsäure oder molekulare Verkieselung anrainer Gesteine wohl als Beweis für einst durchfließende und höher temperierte Wässer anzusehen sind.

Je heißer und chemisch aktiver die Gase sind, desto kräftiger reagieren sie mit dem Nebengestein. So werden die Stoffe, die das heiße Wasser aus der Tiefe mitbringt oder aus dem Nebengestein herausgelöst hat, an der Oberfläche abgeschieden und umgeben die Quellaustritte als kieselige (Großer Geysir im Hochtemperatur-Gebiet Haukadalur, Lysuhóll auf Snaefellsnes) oder kalkige Sinterkrusten.

Kalksinterabsätze sind in Island sehr gering vertreten und ihre Zahl bei weitem nicht vergleichbar mit den großen Travertinterrassen in anderen heißen Quellgebieten, wie z.B. im Yellowstone Park.

Alle im Verlauf dieser Untersuchung analysierten Wässer enthalten Kieselsäure. Ähnliche Beobachtungen machten Sonder (1941), Barth (1950), Carlé (1980), Jónsson (1981), Arnórsson (1983).

Die isländischen Thermalwässer sind gekennzeichnet durch einen sehr hohen Gehalt an Kieselsäure. Bei 10 Wässern wurden Kieselsäure-Gehalte festgestellt, die von 110,0 mg $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$ bei der Ölkelda Lysuhóll auf dem ehemaligen Schwimmbadgelände (Probe Nr. 9) bis zu 280,0 mg $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$ bei dem Wasser des Explosionskraters Víti (Probe Nr. 3) reichen. Die restlichen 7 Quellen enthalten geringere Mengen von 12,0 mg $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$ (Ölkelda Grundarfjörður - Probe Nr. 15) bis zu 80,6 $\text{H}_2\text{SiO}_3/\text{kg}$ (Ölkelda Höfn - Probe Nr. 16). Wie aus den

Analysen ersichtlich, macht bei allen Wässern der Anteil der Kieselsäure einen hohen Prozentsatz vom Gesamtgehalt an festen gelösten Stoffen aus. Er beträgt rund 1/10 des gesamten Mineralstoffgehalts; Höll (1971) nennt höhere Anteile zwischen 1/3 und 1/4.

Der hohe Kieselsäure-Gehalt der heißen Quellen ist auf die zum Teil beachtlichen Rhyolithvorkommen im Einzugsbereich zurückzuführen. In Spalten und Klüften wird die Kieselsäure von den vorwiegend alkalischen heißen Wässern besonders gut herausgelöst. Unter anderem wurden bei den Proben des Thermalsäuerlings Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1), der Thermalquelle Stórihver (Probe Nr. 2), der Thermalquelle Nedri Hveradalir (Probe Nr. 4), der Thermalsäuerlinge Lysuhóll (Proben Nr. 9,10), um einige Entnahmestellen zu nennen, Rhyolithvorkommen in unmittelbarer Nähe gefunden. Gleiches gilt auch für den Großen Geysir im Hochtemperatur-Gebiet von Haukadalur.

Die physiologische Wirkung des Siliziums ist umstritten, wahrscheinlich ist es ein für das Wachstum notwendiges Element. Negative toxikologische und hygienische Wirkungen bei Trinkkuren mit kiesel säurehaltigen Wässern sind nicht bekannt (Hütter 1984).

1) Weitere chemische Bestandteile

Nachstehend werden weitere chemische Substanzen in natürlichen Mineralwässern kurz behandelt, die mit Blick auf Island von Interesse sind und in den Analysen ermittelt wurden bzw. ganz fehlen.

Bei den Kationen handelt es sich um Kalium (K^+), Ammonium (NH_4^+) und Mangan (Mn^{2+}).

Der tägliche Bedarf an Kalium von 3-4 g wird normalerweise durch die Nahrung abgedeckt. Mineralwässer enthalten im allgemeinen nur wenige Milligramm. Höll (1986) erwähnt bei reinen Grundwässern einen Gehalt von 1-2 mg K^+ /kg. Höhere Konzentrationen von ca. 100 mg K^+ /kg fördern die entwässernde Wirkung, so daß größere Mengen nur auf ärztliche Verordnung getrunken werden sollten (Schneider 1986).

Alle isländischen Wässer enthalten Kalium, generell in geringeren Konzentrationen von 0,5 mg K^+ /kg bis 30,0 mg K^+ /kg. Eine bemerkenswerte Ausnahme ist die Thermalsole Svartsengi (Probe Nr. 5) mit einem Gehalt von 3240,0 mg K^+ /kg oder 17,5 mval % = c(eq)%.

Acht der 17 analysierten Wässer enthalten Ammonium in Mengen, die sich zwischen 0,02 mg NH_4^+ /kg (Probe Nr. 6 - Ölkelda Raudamelur) und 0,65 mg NH_4^+ /kg (Probe Nr. 4 - Thermalquelle Nedri Hveradalir) bewegen.

Mangan tritt mehr oder minder in Verbindung mit Eisenkarbonaten und - Silikaten auf. Diese Beobachtung wird von den eigenen Analysen bestätigt, die bei den ermittelten manganhaltigen Wässern gleichzeitig Eisenkonzentrationen von 5,55 mg Fe^{2+}/kg bis 44,0 mg Fe^{2+}/kg aufweisen.

Den niedrigsten Manganwert zeigt die Ölkelda Lysuhóll, Schwimmbadgelände (Probe Nr. 9) mit 0,020 mg Mn^{2+}/kg , den höchsten die Ölkelda Brautarholt (Probe Nr. 8) mit 0,750 mg Mn^{2+}/kg . Der Mangangehalt ist im allgemeinen geringer als der Eisengehalt und übersteigt selten 1 bis 2 mg Mn^{2+}/kg .

Bei den Anionen wurden in den 1986 untersuchten Wässern weder Hydrogensulfid noch Nitrit gefunden; 1973 war Hydrogenarsenat allein bei der Ölkelda Raudamelur (Probe Nr. 6) mit einem sehr geringen Gehalt von 0,01 mg $\text{HA}_2\text{O}_4^{2-}/\text{kg}$ festgestellt worden. Die Gefahren einer Überdosierung sind also nicht gegeben. Dies gilt insbesondere für Arsen, für das in der Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser 1984 als zulässiger Grenzwert 0,06 mg As/kg festgelegt wurde.

Bromidwerte wurden 1986 in insgesamt 6 Wässern gefunden. Sie reichen von 0,40 mg Br-/kg bei den Proben Nr. 7 und 11 der Ölkelda beim Bauernhof Ölkelda bzw. Ölkelda Bjarnarfosskot bis zu 7,20 mg Br-/kg in der Thermalsole von Svartsengi (Probe Nr. 5). Verschiedene Bromverbindungen, wie z.B. Kaliumbromid (KBr) werden in der Medizin als Beruhigungsmittel für Nerven und Herz verwandt. In großen Dosen verabreicht, führt Brom zu Hautausschlägen, Nasenschleimhautentzündungen, Asthma etc. Die in den isländischen Wässern enthaltenen Brommengen wirken jedoch nicht störend oder schädlich.

Nitrat darf nach den deutschen Bestimmungen 1984 nicht die Grenze von 10 mg NO_3^-/l überschreiten, wenn das Wasser für die Zubereitung von Säuglingsnahrung verwendet wird (s. auch Anhang g). Für Tafel- und Quellwasser liegt jetzt die zulässige Höchstgrenze bei 50 mg NO_3^-/l (vor 1984: 90 mg NO_3^-/l). Der Richtwert, der auch für Mineralwässer gelten sollte, beläuft sich auf 25 mg NO_3^-/l .

Die bei 10 isländischen Wässern 1986 gemessenen Nitratgehalte befinden sich alle unter diesem Richtwert; sie reichen von 0,5 mg NO_3^-/kg bei der Ölkelda Hengladalir-Threngsli (Probe Nr. 1) bis zu 14,0 mg NO_3^-/kg bei der Ölkelda Hraunhafnardalur (Probe Nr. 12). Trinkkuren sind daher nicht gesundheitsschädigend.

Hydrogenphosphat (HPO_4^{2-}) schließlich ist in 13 Wässern vertreten mit Konzentrationen, die zwischen 0,03 mg/kg (bei den Proben Nr. 1,13,14 und 16) und 0,45 mg/kg (bei den Proben Nr. 2 und 4) liegen. Sie sind damit als reine Wässer zu bezeichnen. Der tägliche Bedarf an Phosphor liegt im Schnitt bei 1 g.

Lebenslauf

Name: Ulrich Münzer

geb.: 29.12.1943 in Kressbronn/Bodensee

Eltern: Heinz Münzer, Dr. med., gefallen 1944
Charlotte Münzer, geb. Trendelenburg

Schulbildung: 1950-1955 Volksschulen in Pfaffenhofen/Inn, Rosenheim
1955-1960 Humanistisches Gymnasium, Rosenheim
1960-1963 Scheuermannsche Krankheit, Handelsschule Kolbermoor
1963-1964 Praktikum in Photogrammetrie bei der Photogrammetrie GmbH, München
1964-1965 Staatliche Ingenieurschule f. Holztechnik, Rosenheim
1965-1966 Praktikum in Photogrammetrie bei Fairey Survey Ltd., Maidenhead, England

Studium: 1966-1971 Studium Vermessung/Photogrammetrie in München und Berlin
5.2. 1971 Abschluß: Diplom Ingenieur in Vermessung
1971-1973 Studium Ingenieurbau in Berlin
SS 1973 Studienbeginn Geologie-Paläontologie in Berlin
7.2. 1973 Abschluß: Diplom Ingenieur in Ingenieurbau
14.2.1974 Vorprüfung Dipl. Geologe in Berlin

Berufliche Laufbahn: 1.4.74-82 technischer Angestellter der Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung (ZGF), Hilfseinrichtung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), München
18.7.1977 Abschluß: Diplom Geologe
Thema: Die Insel Vulcano
- geologische Aufnahme mit Unterstützung geophotogrammetrischer Methoden -
1.1.1982 wissenschaftlicher Angestellter an der Zentralstelle für Geo-Photogrammetrie und Fernerkundung (ZGF), München
1.1.1983 Übereignung der ZGF an die Ludwig-Maximilians-Universität München; wissenschaftlicher Angestellter der Arbeitsgruppe Fernerkundung am Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität München
WS 1988/89 Einreichung der Dissertation



